سلامة طوسون

البلورات وبصرياتها

الأستاذ الدكتور
سلامة طوسون
استاذ بقسم الجيولوجيا
كلية العلوم - جامعة الاسكندرية

البلورات وبصرياتها

الأستاذ الدكتور
سلامة طوسون
استاذ بقسم الجيولوجيا
كلية العلوم - جامعة الاسكندرية

مقـــــــــــدمة

نظرا لعدم وجود مرجع فى هذا العلم باللغة العربية فقد وجـــدنا أنه من الضرورى اخراج كتاب فى علم المعادن ليجمع المبادىء الاساسية لدراسة المعادن، وظهر كتاب علم بصريات المعادن فى عام ١٩٦٠ ثم تلاه كتاب هندسة البلورات. ونظرا لما لمسناه من تشجيع الدارسين لهذا العلم فقد رأينا أن نجمع بعض معلومات هذين الكتابين معا واستكمالها ليكونا مرجعا شاملا فى أسس هـــذا العلم وهو الجزء الاول فى علم المعـــادن ويشمل أسس دراسة خواص المعـــادن البلورية والطبيعية والبصرية والكيمائية وهو مقدمة للجزء الثانى الخاص بوصف المعادن العامة .

ويشمل الكتاب دراسه الاشكال المختلفة للمعادن والبلورات والخواص الطبيعية والبصرية وطرق دراسة المعادن بالميكروسكوب المستقطب .

ونظرا لأهمية الرسم فى توضيح حقائق هذا العلم فقـــد وضعنا ٤٣٦ شكلا موضحا للحالات المختلفة .

وانى اذ اقدم هذا الكتاب فى علم المعادن ، أرجـــو من الله أن أكون قد وفقـــت فى المساهمة لتبسيط هذا العلم لدارسيه باللغـــة العربية وليكون باكورة انتاج للمكتبة العربية ، وآمل أن يكبر ويتطور بما يتلائم وتراثنا العلمى الخالد .

سلام طوسون

محتويات الكتاب

رقم الصفحة

الباب السـابع

الباب الاول

الخواص البلورية والطبيعية للمعادن والبلورات

يمكن تعريف المعدن بأنه مادة كيميائية متجانسة تكونت فى الطبيعة والمادة المتجانسة جميع اجزائها متشابهة كيميائيا وطبيعيا فى كل الخواص .

وعلى ذلك فكل معدن له تركيب كيميائى وشكل بلورى ثابت وخواص طبيعية مميزة . وسنذكر باختصار الخواص المميزة للمعادن .

(١) أشكال المعدن : وهى الهيئة التى يوجد بها المعدن وتوجد المعادن غالبا فى صورة متبلورة لها شكل معين ثابت ناتج من طريقة ترتيب الذرات فى داخل البلورات . وتقسم البلورات إلى سبعة فصائل تبعا لاطوالها وميولها ثم تقسم هذه السبعة فصائل إلى أثنين وثلاثين نظاما ويسمى هذا العلم بعلم هندسة البلورات . وسندرسه ببعض التفصيل فى الصفحات التالية .

(٢) خواص طبيعية : وتنقسم إلى أربعة أقسام أساسية :

أ) خواص تعتمد على درجة التحام الذرات فى المعدن ومنها الانفصام وهو انفصام المعدن فى مستويات معينة سهلة متوازية . وقد يكون المعدن أكثر من اتجاه واحد للانفصام . المكسر: وهو شكل السطح الذى ينتج عن كسر المعدن . الصلابة : وهى قوة المعدن على مقاومة الخدش وقد اتفق على عشرة معادن لمقارنة باقى المعادن بها وهى مرتبة تبعا لازدياد الصلابة كالآتى : ١) تلك ٢) جبس ٣) كالسيت ٤) فلوريت ٥) اباتيت ٦) ارثوكلاز ٧) كوارتز ٨) توباز ٩) كورندم ١٠) ماس. وظفر الاصبع يخدش المعادن التى صلابتها أقل من ٢٫٥ ويخدش الدبوس أو السلاح الصلب المعادن التى صلابتها أقل من ٦

ب) خواص تعتمد على تأثير الضوء على المعدن منها : الشفافية والاعتام أو نصف الشفافية

تبعا لدرجة مرور الضوء في المعدن . اللون ولكل معدن لون أو عدة ألوان مميزة البريق وهو قوة وسطوع الضوء المنعكس من سطح المعدن ، وهو أما بريق معدني أو غير معدني وفي هذه الحالة قد يكون زجاجي ، صمغي ، لؤلؤي ، حريري ، ماسي الخدش : وهو لون مسحوق المعدن ويمكن رؤيته بحك المعدن على بلاطه بيضاء أو أي مادة صلبة .

ج) خواص بصرية ،وهي دراسه قطاعات المعدن تحت الضوء المستقطب وسندرسها بإسهاب في هذا الكتاب .

د) الوزن النوعي ، وهو وزن المعدن في الهواء إلى وزن حجم مساوى له من الماء ويقال المعدن الخفيف أو متوسط الثقل أو ثقيل .

الأشكال البلورية

من أنواع التبلور التي يلاحظها الانسان كثيرا الثلج ، وقد درس الفلاسفة اليونان قديما هذه الظاهرة وسميت نتيجتها باللغة اليونانية Krystallos وقد عرفوا أيضا الكوارتز الشفاف عديم اللون وظنوه ماء متجمد تكون في درجات حرارة منخفضة جـــدا ، وهكذا ظلوا بسبب صلابته الزائدة عن الثلج . وليميزوا بين الكوارتز والثلج سموا الاول صخر الثلج Rock Ice والثاني البلورة الصخرية Rock Crystal ومن أهم مميزات هذه البلورة شكلها المتعدد الاوجه Polyhedral وأطلق بعد ذلك على كل معدن له شكل متعدد الاوجه لفظ بلورة ، والعلم الذي يدرس هذه الاشكال سمي علم البلورات Crystallography ويمكن ملاحظة التبلور أي تكون البلورات أثناء العمليات الآتية :

١ – تبريد وتصلب المواد المنصهرة (كالكبريت)

٢ – تبريد بخار مادة متسامية Sublimating (كاليود)

٣ – تبلور من محلول مشبع .

وتبعا لسبب التشبع نميز الحالات الآتية :

أ) تبخر المذيب مثلا الكبريت من محلوله فى ثانى كبريتور الكربون Carbon disulphide أو سلفات النحاس — كلوريد الباريوم — أو ثانى كرومات البوتاسيوم Potassium dichromate من محلولها المائى .

ب) تناقص الذوبان بانخفاض درجة الحراره (KNO_3) نترات البوتاسيوم .

ج) بخلط محلولين يتفاعلا معا ويعطيا أملاح مثل سلفوسيانيد الكوبالت والزئبق Cobalt Mercury Sulphocyanide . وبدراسة هذه البلورات تحت الميكروسكوب يمكن ملاحظة الحقائق الآتية :

البلورات اشكال متعددة الاوجه Polyhedrons (مواد صلبة محاطة بأوجه ناعمة) مكونة من مركبات كيميائية متحولة من الحالة المنصهرة أو الغازية أو من محلول إلى الحالة الصلبة وكل مركب كيميائى يتبلور فى شكل متعدد الاوجه خاص به ويختلف عامة عن المركبات الاخرى .

تتكون البلورات الكبيرة والواضحة الاوجه أثناء التبلور البطىء وإذا زيدت سرعة التبلور فانه يتكون فقط بلورات صغيرة وغير واضحة الاوجه . وحركة نمو البلورة يبين أن الجزيئات تتحد مع بعضها تبعا لقواعد هندسية خاصة تبعا لنوعها ومحتوياتها وعلى ذلك فالبلورة يمكن اعتبارها جزىء كبير « Polymerisation » .

وخلاصة القول أن هذه الاشكال المنتظمة والمتعددة الأوجه لا بد أن تكون نتيجة لتركيب هندسى داخلى محدد أى ترتيب خاص للذرات « Atomic space lattice » وقد تأكد « August Bravais, 1848. » عمليا من صحة هذا الاستنتاج النظرى بواسطة انعكاس وانكسار أشعة اكس (X) على المستويات الذرية للترتيب الفراغى « Space lattices » للبلورات.

تعريف كلمة بلورة :

البلورة عبارة عن مادة صلبة متجانسة ذات تركيب داخلى محدد (ترتيب فراغى ذرى Atomic space lattice. » ويتبع شكل خارجى خاص أى شكل محدد بأوجه متعددة مستذبة اذا لم يعوق التبلور عائق .

ويمكننا القول ان الحالة المتبلورة هى الحالة العادية للمواد الصلبة . المواد الصلبة عديمة التبلور Amorphous ليس لها تركيب داخـــلى خاص وهى جيلاتين غروى Colloidal Jelly ومحاليل ذات لزوجة عالية Viscous أو زجاج سائل مبرد بشدة Under cooled وهى ليست مواد صلبة حقيقية ، وعلى ذلك فهى مواد غـــير ثابتة ولها قابلية للتحول للحالة المتبلورة Devitrification .

وعلم البلورات هى الكلمة العامة التى تطلق على عـــلم تبلور المواد ويمكن تقسيمه الى الاقسام الآتية :

١ - علم هندسة البلورات : Geometrical Crystallography

ويشمل دراسة الشكل الخارجى للبلورات الكاملة النمو .

٢ - علم بنية البلورات : Structural Crystallography

ويشمل دراسة التركيب الداخلى وعلاقة الذرات ببعضها ببعض .

٣ - عـلم طبيعة البلورات والمعادن : Physical crystallography

يعنى الخواص الطبيعيه للمادن ومنها الخواص البصرية للمعادن وسنبينها فى الأبواب القـــادمه .

٤ - علم كيمياء البلورات :

ويشمل التركيب الكيميائى للبلوره كالتشابه الشكلى Isomorphism والعداديه الشكليه Polymorphism .

وعلم البلورات بمعناه الخاص يعنى وصف المميزات المختلفه للبلورة وهى المسماه بعلم هندسة البلورات وهو ما سنقوم بدراسته باختصار فى الصفحات التالية •

• التفصيل يرجع لكتاب هندسة البلورات للمؤلف.

القاعدة الاساسية لعلم البلورات

فى سنة ١٦٦٩ لاحظ العالم الدانمركى Nicolaus Steno أن بلورات المادة الواحدة لها زاوية ميل ثابتة بين أى وجهين متشابهين مهما كان أصل وتغير تجمع البلورة .

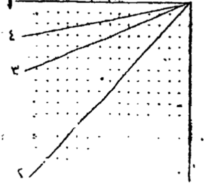
والقانون العددى لثبات الزوايا يمكن شرحه بناء على التركيب الداخلى المحدد للبلورات .

وكان العالم الفرنسى August Bravais سنة (١٨٤٨) أول من فكر أن المادة ليست مستمرة داخل البلورة ولابد أن بها ترتيب فراغى ذرى : Atomic space lattice وهذه الفكرة هى التى تحققت وأصبحت الآن حقيقة بعد معرفة أشعة اكس .

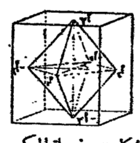
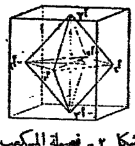
والدراسات الحديثة بينت ان الاوجه المشذبة للبلورة تكون موازية لمستويات الترتيب الفراغى التى تصل فيها كثافة الذرات درجه عاليه (شكل ١) وعلى ذلك فالاوجه الاساسيه ثابته فى البلورات المختلفه لمادة والزوايا بينهم ثابته اى أن التركيب الداخلى للترتيب الفراغى يحدد الشكل الخارجى للبلورة .

المحاور والفصائل البلورية :

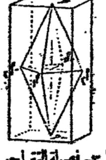
من السهل أن نعتبر أوجه البلورة بالنسبة لخطوط أو الاتجاهات تخيليه ونستعملها لتحديد مكان الوجة أو بمجموعه أوجه فى البلورة وهذه الخطوط أو الاتجاهات تسمى بالمحاور البلورية وتقع كل البلورات بطبيعتها فى سته فصائل (أشكال ٢، ٣، ٤، ٥، ٦، ٧) وهى تعتمد على سته ترتيبات هندسيه للمحاور البلورية . وهذه الفصائل كالآتى :



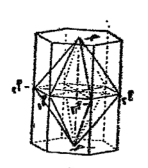
شكل (١) ـ الارقام تمثل درجة كثافة الذرات رقم ١ مثلا هو الاعلى فى الكثافة

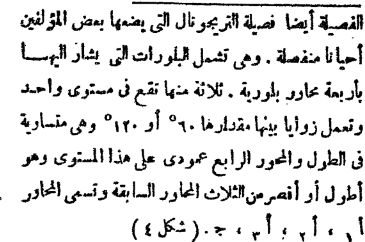


شكل ٢ ـ فصيلة المكعب

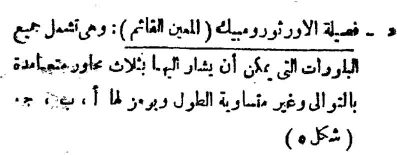
أ ـ فصيلة الكيوب (المكعب) : ويشار الى بلورات هذه بثلاث محاور بلورية متعامدة ومتساوية وتسمى بالتوالى $أ_١$ ، $أ_٢$ ، $أ_٣$. (شكل ٢ ـ كيوب وأكتاهيدرون)

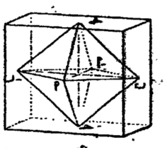

شكل ٣ ـ فصيلة التتراجونال

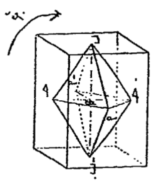
ب ـ فصيلة التتراجونال (الرباعى) : ويشار الى بلورات هذه الفصيلة بثلاث محاور بلورية متعامدة على التوالى اثنين منهم متساويين والآخر أطول أو أقصر منهما وتسمى $أ_١$ ، $أ_٢$ ، جـ . (شكل ٣ — بريزم + بيناكويد وباى بيرايد) .


شكل ٤ ـ فصيلة الهيكساجونال

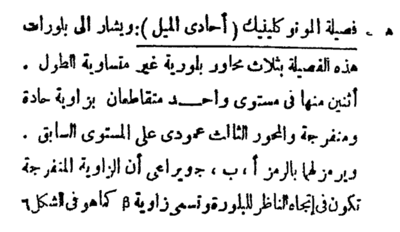

جـ ـ فصيلة الهيكسا جونال (السداسى) : وتدخل فى هذه الفصيلة أيضا فصيلة التريجونال التى يضعها بعض المؤلفين أحيانا منفصلة . وهى تشمل البلورات التى يشار اليهـا بأربعة محاور بلورية . ثلاثة منها تقع فى مستوى واحد وتعمل زوايا بينها مقدارها ٦٠° أو ١٢٠° وهى متساوية فى الطول والمحور الرابع عمودى على هذا المستوى وهو أطول أو أقصر من الثلاث المحاور السابقة وتسمى المحاور $أ_١$ ، $أ_٢$ ، $أ_٣$ ، جـ . (شكل ٤)


د ـ فصيلة الاورثوروميك (المعين القائم) : وهى تشمل جميع البلورات التى يمكن أن يشار اليها بثلاث محاور متعامدة بالتوالى وغير متساوية الطول ويرمز لها أ ، ب ، جـ . (شكل ٥)

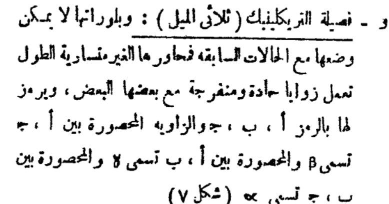

شكل ٥ ـ فصيلة الأورثوروميك



شكل ٦ - فصيلة المونوكلينيك



هـ - فصيلة المونوكلينيك (أحادى الميل): ويشار الى بلورات هذه الفصيلة بثلاث محاور بلورية غير متساوية الطول . أثنين منها فى مستوى واحـــد متقاطعان بزاوية حادة ومنفرجة والمحور الثالث عمودى على المستوى السابق . ويرمز لها بالرمز أ ، ب ، ج ويراعى أن الزاوية المنفرجة تكون فى إتجاه الناظر للبلورة وتسمى زاوية β كما هو فى الشكل ٦



و - فصيلة التريكلينيك (ثلاثى الميل) : وبلوراتها لا يمكن وضعها مع الحالات السابقه فمحاورها الغير متساوية الطول تعمل زوايا حادة ومنفرجة مع بعضها البعض ، ويرمز لها بالرمز أ ، ب ، ج والزاويه المحصورة بين أ ، ج تسمى β والمحصورة بين أ ، ب تسمى γ والمحصورة بين ب ، ج تسمى α (شكل ٧)



شكل ٧ - فصيلة التريكلينيك

ويلاحظ وجود بلورتين مختلفتين فى عدد الأوجه فى كل من الاشكال السابقة وذلك لنبين للقارىء كيفية إختلاف الاشكال البلورية وتعددها بالرغم من تبعيتها لنفس الفصيلة الواحده مادامت تتبع نظام المحاور فى هذه الفصيلة .

النسبة المحورية:

النسبة المحورية ثابتة لكل نوع من المعادن أو المواد الكيماوية المتبلورة وتعين النسبة المحورية باختيار وجه مناسب يقطع الثلاثة محاور البلورية ثم تحسب علاقة التقطاعات على المحاور . والوجه الذى اختير لهذا الحساب اذا كان بيراميد مثلا يسمى البيراميد الوحدة .

وقد ساعدت الدراسة بأشعة إكس فى إختيار الوجه المناسب لعمل هذا الحساب. وفى الحقيقة يمكن تعيين النسبة المحورية فى بعض المواد بطريقة أشعة إكس دون اعتبار الشكل الخارجى للبلورة . فى فصيلة الكيوب كل المحاور متساوية وعلى هذا فنفس النسبة المحورية

توجد فى جميع البلورات . فى بلورات التتراجونال المحاور الافقية متساوية ، أما المحور الرأسى فهو أقصر أو أطول من الافقى ويصبح من اللازم معرفة نسبة التقاطع على المحور الرامى إلى نسبة التقاطع على المحوران الافقيان ، فمثلا جـ = ١٫١٤٢ تعنى أن نسبة التقاطع على المحور جـ إلى التقاطع على المحور الافقى هى ١٫١٤٢ إلى ١ . ونفس هذا الاستنتاج ينطبق على فصيلة الهيكساجونال . فى فصيلة الاورثورومبيك يحسب التقاطع على المحور ب كواحد وعلى ذلك تذكر النسبة المحورية مثلا أ : ب : جـ = ٠٫٨١٤ : ١ : ١٫٩٢٣ . فى فصيلة المونوكلينيك والتريكلينيك لابد من ذكر علاقة الزوايا بين المحاور بجوار النسبة المحورية .

قانون التقاطعات النسبية : (Law of rational Intercepts)

بعد معرفة وحدة التقاطعات ، يمكن وصف مكان اى وجه على بلورة ما بمعرفة تقاطعاته على كل من المحاور البلورية بالنسبة لوحدة التقاطعات . وبعمل هذا التقدير يظهر فائدة قانون التقاطعات النسبية وينص هذا القانون على أن العلاقة بين التقاطعات لاوجه البلورة لابد أن تكون أرقام نسبية أى ١ : ٢ ؛ ٢ : $\frac{٣}{٢}$ ، ٤ : $\frac{٢}{٣}$ الخ .. ولكن لايمكن أن تكون ١ : $\sqrt{٢}$ الخ ..

الاحداثيات والادلة : (Parameters and Indices)

أحداثيات وجه بلورة ويعطى بعدد من الارقام للتقاطعات النسبية لهذا الوجه على المحاور البلورية . تعطى التقاطعات النسبية بالنسبة لوحدة التقاطعات .

فمثلا احداثيات وحدة التقاطعات لبيراميد فى فصيلة الاورثورومبيك هى أ : ب : جـ . بيراميد آخر يمكن أن تكون احداثياته $\frac{١}{٣}$ أ : $\frac{١}{٤}$ ب : جـ

أدلة ميللر : Miller Indices

عبارة عن مقلوب الاحداثيات مع ازالة الكسور العشرية ، ويمكن بالامثلة القادمة بيان العلاقه بين الاحداثيات والادلة كالآتى :

احداثيـــات	أدلـــة *	الأدلة بالترتيب العربى
أ ١ : أ ٢ : أ ٣	111	١١١
∞ أ ١ : ∞ أ ٢ : جـ	001	١٠٠
١/٢ أ : ٢/٣ ب : جـ	432	٢٣٤
أ ١ : أ ٢ : جـ	333	٣٣٣

ومن الاسهل تمثيل اوجه البلورة بالادلة بدلا من الاحداثيات ويرمز للادلة بالرمز h.k.l. وفى فصيلة الهيكساجونال h.k.i.l

عناصر وعمليات التماثل :

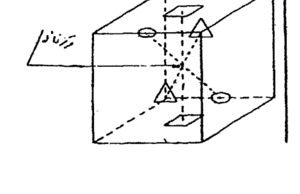
من دراسة الشكل الهندسى الخارجى للبلورات يظهر بعض عناصر التماثل . ويمكن وصف بعض عناصر التماثل هذه بواسطه عمليات التماثل . وهى عبارة عن : ١) دوران نقطة حول محور . ٢) انعكاس خلال مستوى . ٣) انعكاس مع دوران الخ ... وتشمل عناصر التماثل : أ) محور للتماثل وهو خط خيالى يمكن أن تدار حوله البلورة بحيث يتكرر حوله نفس الوجه أو الزاوية أو الخط اكثر من مرة ، وهى اما ثنائية حيث يتكرر الوجه الواحد مرتين فى دورة كاملة (٣٦٠°) ويرمز لها بالرمز 0 أومحاور ثلاثية حيث يتكرر الوجه الواحد الخ ثلاثة مرات فى دورة كامله ويرمز لها بالرمز △ . أو محاور رباعية وهى تكرر أربعة مرات فى الدورة الكامله ويرمز لها بالرمز □ أو سداسية ويرمز لها بشكل سداسى وهى عندما يتكرر نفس الوجه ستة مرات فى الدورة الكامله كما هو مبين فى شكل ٨ أ .

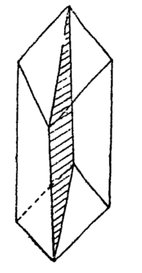
ب) مستوى تماثل : وهو يوجد اذا مر فى البلورة مستوى خيـــالى يقسم البلورة إلى قسمين متماثلين أحدهما صورة مرآة الاخرى شكل ٨ ب .

---

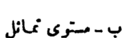
* راعى فى الادلة أننا سنحتفظ بالارقام الاوربية وبترتيبها من الشمال اليمين وذلك لسهولة رجوع الطالب اليها فى المراجع الاوربية .

ج) مركز التماثل : يقال أن البلورة بها مركز تماثل اذا كان من الممكن أن يمر خط من أى نقطة على سطح البلورة الى مركز البلورة ويخرج من نقطة مشابهة فى الناحية المقابلة بمسافة متساوية من المركز (شكل ٨ أ)

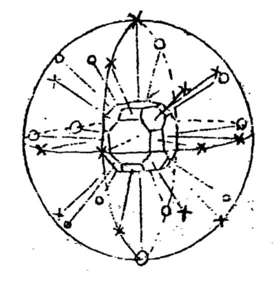




شكل (٨) — عناصر التماثل :
أ - محاور تماثل ثنائى وثلاثى ورباعى ومركز تماثل



ب - مستوى تماثل



شكل (٩) - شكل يمثل فكرة العرض الكروى .

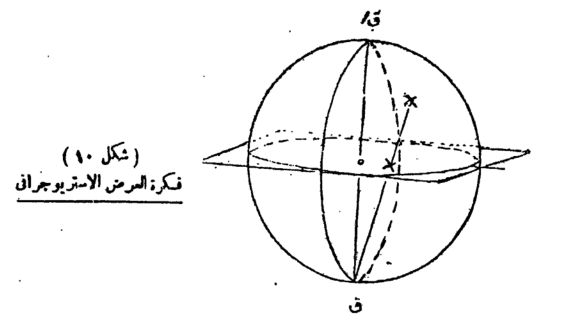
طرق عرض البلورات

وضعت عدة محاولات لطرق عرض البلورات بطريقة تبسط الرسم العادى ، ومن هذه المحاولات العرض الكروى وهو تمثيل البلورة بأوجهها ممثلة بنقط على سطح كرة (شكل ٩) ولكن هذه الطريقة لابد من تمثيلها فى ثلاثة اتجاهات ، ولذا تستعمل طريقة اسهل ويمكن تمثيلها على السبورة أو سطح الورق بسهولة وهذه الطريقة هى طريقة العرض الاستريوجرافى Steriographic projection.

طريقة العرض الاستريوجرافى

بالرغم من أن هذا العرض الاستريوجرافى يمثل فى ثلاثة اتجاهات الا انه من السهل تمثيله على سطح الورقة (أو السبورة) والمشكلة هنا تماثل مشكلة تمثيل سطح الكرة الارضية على خريطة مسطحة ، والمحاولة الصحيحة لحلها هو العرض بطريقة تحفظ حقيقة الزوايا بقدر الامكان مع عدم الاهتمام الكثير بثبات السطح الحقيقى .

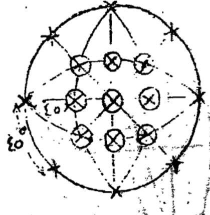
وهذا هو مانفعله فى طريقة العرض الاستريوجرافى وفيه نعتبر سطح الورقة وكأنها تمر افقيا بمركز العرض الكروى حيث تقطعه فى الدائرة الاولية Primitive (شكل ١٠) وكل



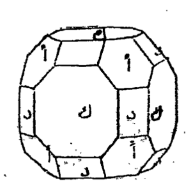
(شكل ١٠)
فكرة العرض الاستريوجرافى

قطب على الكرة يمثل على سطح الورقة بتوصيله مع أسفل نقطة فى الكرة ق ويرمز لمكان القطب بنقطة صغيره (أو علامة ×) على الورقة عند نقطة تقاطع الخط الموصل مع سطح الورقة ، وعلى ذلك فالنصف الاعلى للبلورة يمثل كأقطاب داخل الدائرة الاولية فى حين أن أقطاب الاوجه العمودية على سطح الورقة تمثل على الدائرة الاولية ذاتها . واذا استعمل هذا النظام بالنسبة الاقطاب الموجودة على نصف البلورة الاسفل فلابد من مد الخطوط الموصلة حتى تقابل سطح الورقة وستقع نقطة الاقطاب خارج الدائرة الاولية . ومع أن هذه هى الطريقة المباشرة ، لكن ذلك يعنى أن العرض قد يمتد الى مسافة كبيرة خارج الدائرة ، ولذا اعتيد أن يحدد العرض فى حدود الدائرة الاولية . وللوصول الى تلك النتيجة توصل أقطاب النصف السفلى مع أعلى نقطة على الكرة ق/ المقابلة للنقطة ق على السطح العلوى . وليبين هذا على الورقة ، أى أن القطب المرسوم فى هذه الحالة يوجد على السطح السفلى وليس العلوى، تمثل نقطة التقاطع على الورقة بحلقة صغيرة بدلا من (علامة ×) للسطح العلوى كما هو مبين فى شكل (١٢) .

سنحاول الآن أن نمثل بالعرض الاستريوجرافى البلورة (شكل ١١) من مجموعة اشكال الكيوب (Cube) والتى تحتوى على أوجه كيوب (Cube) - اكتاهيدرون ودوديكاهيدرون ومن السهل وضع أوجه الكيوب ، فالوجه العلوى يقع فى مركز الدائرة الاولية ويمثل بعلامة



شكل (١٢) عرض استريوجرافى للاوجه فى البلورة شكل (١١)



شكل (١١) مجموعة أشكال كيوب فى بلورة
أ ـ اكتاهيدرون ك ـ كيوب د ـ دوديكاهيدرون

(×) والوجه السفلي الموازى له يمثل بحلقة صغيرة حول هذه العلامة (شكل ١٢) . أما الاربعة اوجه الرأسية فتعطى أقطاب على محيط الدائرة الاولية نفسها . ويجب ملاحظه أن علامة (×) فقط هى التى تظهر على محيط الدائرة لان الحلقه تمثل فى هذه الحالة النصف الثانى لنفس الوجه (الذى سبق ومثل بعلامة ×) واذا حاولنا تمثيل اوجه الدوديكاهيدرون الاثنى عشر فواضح من توازى الحروف أنها تقع فى مجموعات مكونه من أربعة فى حزام (Zone) مع اوجه الكيوب والاعمدة على الوجه فى أى حزام ستقع فى مستوى عمودى على محور الحزام (Zone axis) . ويقطع هذا المستوى الكرة فى دائرة كبرى (وهى الدائرة التى تمر بالمركز) وكما هو مبين (بالشكل ١٢) أحد هذه الدوائر الكبرى هى الدائرة الاولية والدوائر الاخرى الكبرى الرأسية تمر بالنقطه ق وتعرض فى الرسم كأقطار للدائرة الاولية .

وإذا قسمنا الزاوية المحصورة بين وجه الكيوب(المكعب) إلى أحد اوجه الدوديكاهيدرون المجاورة (مستطيلة) لها نعين زاوية بين الاوجه Interfacial * مقدارها ٤٥° . وبذلك يمكن وضع الاربعة أقطاب التى تقع على الدائرة الاولية بواسطة المنقلة ، اما بقية الاقطاب فلابد لوضعها أن نجد المسافة الحقيقية على العرض المقابلة لزاوية قدرها ٤٥° من قمة الدائرة .

ويمكن بيان ذلك بدراسة قطاع دائرى رأسي كما فى شكل (١٣) حيث المسافة س من مركز الدائرة الاولية إلى قطب نقطة على مسافة زاوية Angular distance ، مقدارها هـ من قمة الكرة تساوى نق ظا $\frac{هـ}{٢}$

حيث نق = نصف قطر دائرة العرض Projection ، أى نصف قطر الدائرة الاولية .

(شكل ١٣)

حساب قيمة س فى الرسم الاستريوجرافى ، س = نق ظا $\frac{هـ}{٢}$

* يلاحظ فى علم البلورات أن الزاوية بين الاوجه تعتبر الزاوية المكملة لها أى ١٨٠° ـ الزاوية المقابلة

وحيث الزاوية هـ = ٤٥° يمكن تعيين هذه المسافة س ونقلها بالبرجل على العرض الاستريوجرافى كما هو مبين فى (شكل ١٢) السابق ذكره.

وسيكون من السهل للمستجد فى أول الامر أن يرسم شكل منفصل لهذه العملية الانشائية له دائرة قطرها يساوى قطر الدائرة الاولية ولكن بعد التمرين يمكن استعمال الدائرة الاولية مباشرة.

وتقع الاربع اوجه العليا للدوديكاهيدرون فى وضع تماثل بالنسبة للمحور الرباعى الرأسى بمقدار المسافة السابق تعيينها (س) من المركز « Tetrad » . أما الاربعة أوجه السفلية فتمثل بحلقات حول الاوجه العلوية اذ أنها مماثلة لها.

والخطوة التالية هى تمثيل اوجه الاكتاهيدرون فى العرض الاستريوجرافى. ويمكن الاستعانة أيضا بتوازى حروف الاوجه. فكل سطح الاكتاهيدرون يقع فى حزام مع وجه الكيوب (المكعب) فى ناحية ومع وجه الدوديكاهيدرون فى الناحية الاخرى. وبذلك يمكن بيان موقع الاوجه فى نقط تقاطع آثار هذه الاحزمة. فمثلا تقاطعهم مع الكرة يعطى فى اربع حالات دوائر كبرى مائلة على مستوى العرض ويجب هنا ملاحظة خاصية من أهم خواص العرض الاستريوجرافى وهى أن أى دائرة ترسم على الكرة تعرض كدائرة. وقد استفيد من هذه الخاصية فى الرسم اوجه الاكتاهيدرون، فكل قطب من الاكتاهيدرون يقع عند نقطة تقاطع ثلاثة دوائر احزمة « Zone circles » ونلاحظ أن هذه الدوائر المثلة للاحزمة تمثل أيضا مستويات التماثل فى البلورة (شكل ١٢).

الشبكة الاستريوجرافية

لتسهيل الرسم الاستريوجرافى تستعمل الشبكة الاستريوجرافية (شكل ١٤) وهى تمثل دوائر كبرى وصغرى ذات انصاف اقطار مختلفة ومرسومة على ورق مقوى ويمكن وضعها على

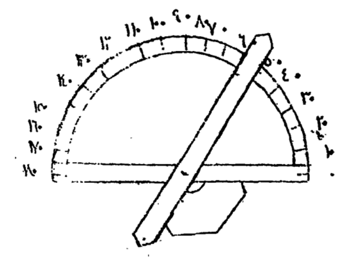
شكل (١٤) شبكة استريوجرافية

العرض وتستعمل لقياس الزوايا ورسمها بدلا من الحساب الرياضى أو الرسم الانشائى السابق ذكره فى (شكل ١٣) .

الجونيـــومترية Goniometry

كما لاحظنا سابقا أن للرسم الاستريوجرافى لابد من قياس الزاوية بين الاوجه ثم تطرح من ١٨٠ للحصول على هذه الزاوية بمعناها فى علم البلورات ، ومن هذه الزاوية تحسب المسافة على الرسم الاستريوجرافى ، ولقياس هذه الزاوية استعملت بعض ادوات قياس الزاويا ومن اسهلها الجونيوميتر الملاصق . وهو عبارة عن منقلة مثبت عليها ذراع (شكل ١٥) ويمكن بوضع بلورة ملاصقة للذراع والمنقلة بالزاوية المراد قياسها معرفة قيمة هذه الزاوية .

وتوجد أنواع دقيقة أخرى من الجونيوميترات لقياس الزوايا فى المعادن الصغيرة الحجم .



(شكل ١٥) - الجونيوميتر الملاصق

الباب الثانى

الاثنين والثلاثون نظام فى البلورات

سبق وقمنا بدراسة فصائل البلورات مستعملين عناصر التماثل البسيطة، أى مركز تماثل مستوى تماثل انعكاسى أو اكثر وواحد أو اكثر من محاور التماثل الدورانية « Rotary axis » من درجة ٢ و ٣ و ٤ أو ٦، ولكن لدراسة الاثنين والثلاثون نظام فى البلورات يجب اضافة بعض الحقائق الاخرى الخاصة بالتماثل. فمركز التماثل حول المركز (Centre of Symmetry) لم يعد يعتبر عنصر أساسى للتماثل مع ان التماثل حول المركز (Contro – Symmetry) مازال قائما.

ويمكن الرمز لمستوى التماثل الانعكاسى بالرمز م، ويرمز للمحاور الدورانية (Rotation axes) تبعا لدرجتها بالرمز ١ و ٢ و ٣ و ٤ أو ٦ كما سنبين نوع جديد من محاور التماثل تسمى محاور دورانية انقلابية (Inversion rotary axes) أو محاور انقلابية (Inversion axes) ويرمز لها تبعا لدرجتها بالرمز $\bar{١}$ و $\bar{٢}$ و $\bar{٣}$ و $\bar{٤}$ و $\bar{٦}$ (خط Bar)

محاور التماثل الانقلابية

هذه المحاور الجديدة عبارة عن عناصر تماثل مركبة (Compound Symmetry elements) فهى تعمل فى أى مستوى فى البلورة عملية الدوران بالزاوية المحدده بالدرجة وفى نفس الوقت انقلاب حول المركز. فمثلا محور $\bar{٤}$ (٤ خط Bar) العمود على سطح الورقة (شكل ١٦) يحرك القطب ١ ، ٩٠° (إلى مكان فوق الحلقة ٤) ثم يقلبه إلى الوضع ٢ ، وهذه العملية المركبة تعاد حتى تعود إلى الوضع الأصلى أى أنه من الوضع ٢ يحرك القطب ٩٠° أخرى ويقلب للوضع ٣ ثم يحرك ٩٠° أخرى ويقلب للوضع ٤ ثم يحرك ٩٠° درجه أخرى ويقلب ليعود لوضع ١.

فالنتيجة النهائية مستويان فوق سطح الورقة ومستويان آخران يماثلانهما تحت سطح الورقة ترتيب ممكن من الناحية البلورية والذى له أكثر من تماثل المحور الثنائى (Twofold Smmetry) مع أنه ليس لديه محور رباعى حقيقى .

وهـذا التماثل فى الحقيقة هو إحدى الاثنين والثلاثون نظام والتى ليس من الممكن استنتاجها بالطريقة المبسطه للتماثل السابق استعمالها .

وشكل (١٦) يمثل بواسطة أقطاب على الاشكال الأستريوجرافية بقية المحاور الانقلابية . ويمكن ملاحظة أن كل هذه المحاور يمكن أيضا شرحها بعناصر التماثل المبسطة السابق دراستها فمثلا $\bar{1}$ تعطى نفس المستويات التى يعطيها مركز تماثل .

(شـكل ١٦)
شكل استريوجرافى يبين عمل محور انقلابى رباعى $\bar{4}$ (⬚)

$\bar{2}$ تعادل مستوى تماثل انعكاسى فى مستوى العرض (مستوى الورقة) أى أن :

$\bar{2} \equiv$ م $\equiv m$ $\bar{2}$) .

$\bar{3}$ (٣ خط) تعادل محور ثلاثى مصحوب بمركز تماثل ($\bar{3}$ = ٣ + مركز ن) .

$\bar{6}$ = محور ثلاثى (triad axis) عمودى على مستوى تماثل .

وبما اننا سبق واتفقنا أن نهمل استعمال مركز التماثل كعنصر مستقل فى الوصف ، لذلك سنمثل فى المستقبل جميع مجموعات التماثل هذه باستعمال المحور الانقلابى . ويجب أن نلاحظ أن هذه الطريقة نستعملهاقفدا للتبسيط وأنه من الممكن ما نجد غالبا أوصاف مختلفة مبادلة لبيان التماثل . وفى الماضى استعمل نوع آخر من عناصر التماثل المركبة ـ وهو محور التماثل التبادلى (Alternating axis of Symmetry) بدلا من المحور الانقلابى ، وهو يجمع دوران مع انعكاس خلال مستوى عمودى على المحور ولكن وجد أن المحـور الانقلابى أفضل فى استعماله

(محور تبادل ١ = $\bar{٢}$ ، ٢ = $\bar{١}$ ، ٣ = $\bar{٦}$ ، ٤ = $\bar{٤}$ ، ٦ = $\bar{٣}$).

، على هــــذا الاساس سنقسم الاثنين والثلاثون نظام للبلورات . والمحور الرئيسى (العمودى على سطح الورقة فى العرض) يوضع أولا ، وهو اما محـــور دورانى أو انقلابى ويرمز له بعلامته المناسبه . واذا وجد مستوى انعكاسى عمودى على هذا المحور تضاف العلامة م (مستوى) بشكل $\frac{٢}{م}$ (تقرأ اثنين على ميم) ولكنها تكتب للسهولة (٢/م).

ويكتب المستوى الانعكاسى المار بالمحور بدون علامة البسط والمقام (أى اثنين ميم ٢م)

واذا وجد نوعى المستويان السابق ذكرهما تكتب العلامة ٢/مم .

والمحور الثانى الافقى (العمودى على محور رئيسى) يرمز له باضافة علامة ٢ (مثلا ٢٣ وتقرأ ثلاثة اثنين وليست ثلاثة وعشرون).

واذا استعملنا الرمز العام لنبين أى محور رئيسى يمكن أن نحصل على الحالات الآتية :

س	محور دورانى فقط .
$\bar{س}$	محور انقلابى فقط .
س/م	محور دورانى عمودى على مستوى تماثل .
س م	محور دورانى مع مستوى تماثل رأسى .
$\bar{س}$ م	محور انقلابى مع مستوى تماثل رأسى .
س ٢	محور دورانى مع محور ثنائى عمودى عليه.
س/مم	محور دورانى مع نوعى مستويا التماثل .

وسنبين فى الجدول الآتى (شكل ١٧) الاثنين والثلاثون نظام معطاه بالاستريوجرام الشكل العام على الاساس السابق ذكره . وتحت كل استريوجرام يعطى رمز النظام ونلاحظ أن هذا الرمز ليس هو دائما الذى يمكن استنتاجه من الوضع المرسوم فى الجدول .

وحينا يختلف الاثنين بشكل واضح بوضع الرمز الفصائلى (Systematic Symbol) فى الجهة اليسرى والرمز المعتاد (Castomary) فى الجهة اليمنى .

ومثلا النظام ٢ م يرمز له مم — والنظام ٢/مم يرمز له ممم . وهذا التغيير عمل ليلائم دراسة الاحتمالات المختلفة للتركيب الداخلى للبلورة * .

ويحتوى التغيير أساسيا على استعمال عناصر تماثل فى الرمز المعتاد تنشأ من تلقاء نفسها من اجتماع العناصر المبينة للرمز الفصائلى .

فمثلا النظام ٢/مم يمكن بملاحظة الاستريوجرام الخاص به أنه نظام الاورثوروميك باى بيراميديال (Orthorhombic bipyramidal class) والرمز المعتاد ممم يبين الثلاث مستويات للتماثل التى يحتويها هذا النظام ، كما أن جميع الانظمة فى فصائل تحتاج أيضا إلى بعض الايضاحات اذ أنه قد لا تكون دائما متفقة مع نفس الدراسة السابقة للفصائل فى تفصيلها فمثلا نظام ١ ، ١̅ لا يحتاج إلى تعليق ونظـــام ٢ ، أو ٢̅ م ، ٢/م فى فصيلة المونوكلينيك (Monoclinc) سبق أن شرحت على أنهما تحتوى على محور ثنائى واحد ، ولكى نعرف الآن أن م معادلة لمحور ثنائى انقلابى . وفى الانظمة مم ، ٢٢٢ ، ممم فى فصيلة الاورثوروميك . مم تبين محور ثنائى واحد فقط مع أنه من الممكن أن نعتبر مستويا التماثل معادلان لمحور ٢̅ ؛ ووضع النظام فى الاورثوروميك لأن التماثل فى خواصه البصرية والطبيعية يماثل خواص النظامين الآخرين فى هذه الفصيلة .

وفى فصيلة التريجونال (Trigonal System) يوجد خمس أنظمة كل منها يحتوى محور ٣ أو ٣̅ والنظامين ٣/م ، ٣/مم يوضعا فى فصيلة السداسى لأن المحـــور الرئيسى منهما ٦̅ . والسبعة أنظمة فى كل من فصيلتى التتراجونال والهكساجونال (Tetragonal and hexagonal) لا يحتاجا إلى تعليق .

وفصيلة الكيوب (Cube) تحتوى خمسة أنظمة وفى كل رمز لأحداها يحتوى العدد

---

* لدراسة التركيب الداخلى للبلورة ارجع لكتاب هندسة البلورات للمؤلف .

٣ مبينا محور ثلاثى ثانوى Secondary triad axes (أى محور ثلاثى ليس فى مكان المحور الرئيسى ، لأنها لاتظهر أولا فى الرموز) .

ويلاحظ أن الاشكال الخاصة هى التى لها علاقة خاصة بمعادلات التماثل أى عمودية أو موازية لمحور أو مستوى تماثل أو متماثلة بالنسبة لها .

أما الشكل العام فهو الاشكال الاخرى فى البلورات المحددة بالتماثل فى النظام الخاص به وليس له علاقة ثابتة بحدده مع معاملات التماثل (h k l) .

والبلورة الواحدة قد تحتوى أشكالا خاصة وعامه وهذه الاشكال تتحدد تبعا لتقاطعات الاوجه وعددها فى كل بلورة

ويوضح الشكل ١٧ الأشكال العامة للاثنين والثلاثين نظاما ممثله بالرسم الاستريوجرافى مرة بعدد الأوجه وأخرى بعناصر التماثل ومعطى مع كل منها رسم لبلورة منظورة تمثل الشكل العام لنظام مع مراعاة أن بعض هذه الأشكال تكون بلورة بسيطة والبعض الآخر ممثل فى تجمع لعدة أشكال من بينها الشكل العام وخاصة فى حالة الأشكال العامة المفتوحة .

ومعطى فى الجدول التالى الأنظمة البلورية ورموزها وأسمائها مع قانون التماثل الكامل لكل نظام : مع مراعاه أن ن يمثل مركـــز تماثل ، م٣ تعنى ثلاث مستويات تماثل من نفس النوع . مع مراعاة كتابة محاور التماثل الاعلى فى القيمه أولا .

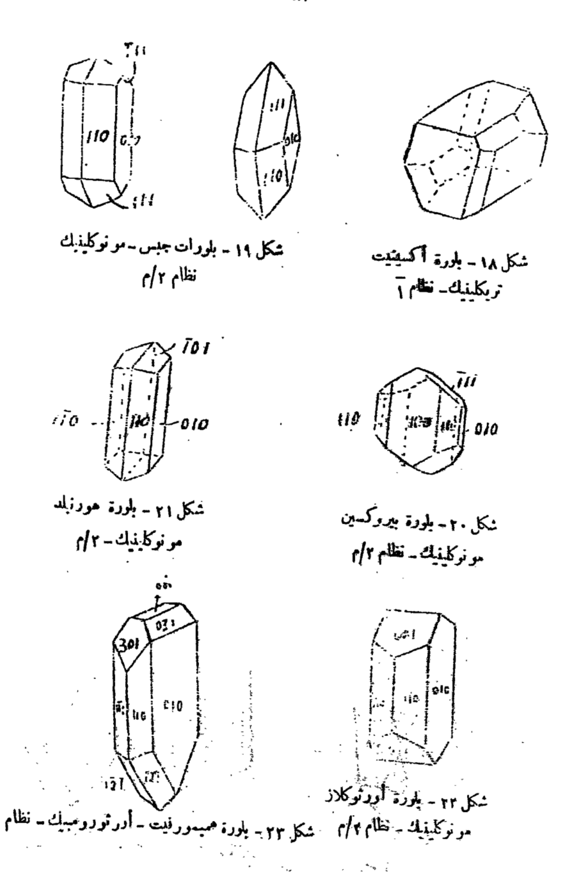
(جـدول للاثنين والثلاثون نظاما للبلورات)

الفصيلة	رقم النظام	اسم النظام	رمز النظام	قانون التماثل
تريكلينيك	١	تريكلينيك بيدبال	١	١
	٢	تريكلينيك بيناكويدال	١̅	١̅ = ن
مونوكلينيك	٣	مونوكلينيك سفينويدال	٢	٢
	٤	مونوكلينيك دوماتيك	م	٢ = م
	٥	مونوكلينيك برزماتيك	٢/م	٢/م ن
اورثورومبيك	٦	اورثورومبيك بيراميدال	م م	٢ م م
	٧	اورثورومبيك سفينويدال	٢٢٢	$٣_{٢}$
	٨	اورثورومبيك باي بيراميدال	م م م	٢/م ٣ ن
تريجونال	٩	تريجونال بيراميدال	٣	٣
	١٠	رومبوهيدرال	٣̅	٣̅ ن
	١١	داي تريجونال بيراميدال	٣ م	٣ م ٣
	١٢	داي تريجونال سكالينوهيدران	٣̅ م	٣̅ ٢/م ٣ ن
	١٣	تريجونال ترابيزوهيدرال	٢٣	٣ ٢٣
تتراجونال	١٤	تتراجونال بيراميدال	٤	٤
	١٥	تتراجونال سفينويدال	٤̅	٤̅
	١٦	تتراجونال باي بيراميدال	٤/م	٤/م ن
	١٧	داي تتراجونال بيراميدل	٤̅ م م	٤̅ م ٢ م ٢
	١٨	تتراجونال باي سفينويدال	٢٤ م	٤ ٢٢ م ٢
	١٩	تتراجونال ترابيزوهيدرال	٢٤	٤ ٢٢ ٢٢
	٢٠	داي تتراجونال باي بيراميدال	٤/م م م	٤/م ٢/م ٤ ن
هيكساجونال	٢١	هيكساجونال بيراميدال	٦	٦
	٢٢	تريجونال باي بيراميدال	٦̅	٣/م (= ٦̅)
	٢٣	هيكساجونال باي بيراميدال	٦/م	٦/م ن

تابع (جـدول للاثنين والثلاثون نظاما للبلورات)

قانون التماثل	رمز النظام	اسـم النظـام	رقم النظام	الفصيلة
٦ م٣ م٣	٦م م	داى هيكساجونال بيراميدل	٢٤	
٣/م ٣٢ م٣م	٦̄ م ٢	داى تريجونال باى بيراميدال	٢٥	
٦٣٢ ٣٢	٢٦	هيكساجونال ترابيزوهيدوال	٢٦	
٦/م ٣/م ٦ن	٦/م م م	داى هيكساجونال باى بيراميدال	٢٧	
٣٢ ٤٣ *	٣٢	تراهيدرال بنتاجونال دوديكاهيدوال	٢٨	كيوبيك
٢/م ٣٣ ٤ن *	م ٣	داى دوديكاهيدرال	٢٩	
٤̄٣ ٤٣ ٦م	٤̄ ٣ م	هيكساتراهيدرال	٣٠	
٣٤ ٤٣ ٦٢	٣ ٤	بنتاجونال ايكوزى تتراهيدرال	٣١	
٤/م ٣٣ ٢٤/م ٦ن	م ٣ م	هيكسا أكتاهيدرال	٣٢	

* فى هذين الحالتين فقط تكتب محاور الثنائية قبـل الثلاثية وذلك لانطباقهم مع المحاور البـلورية .



شكل ١٩ - بلورات جبس - مونوكلينيك
نظام ٢/م

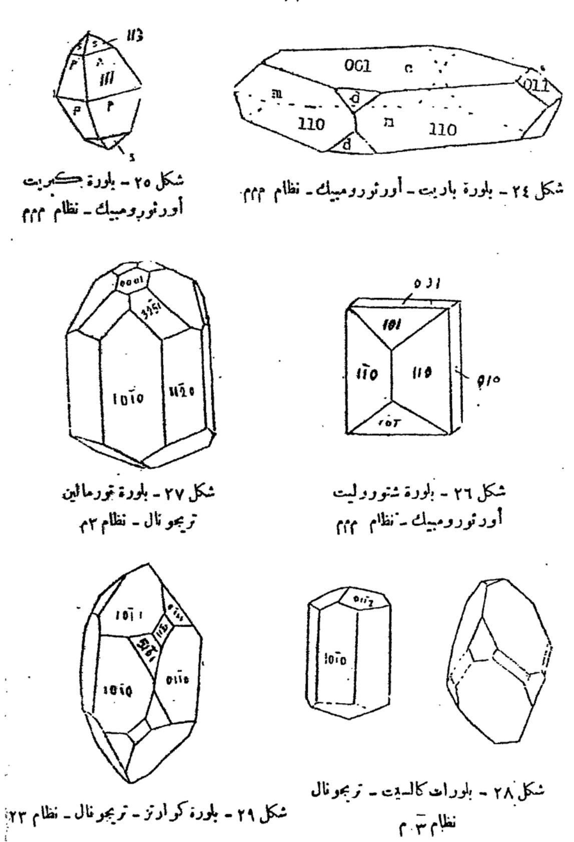
شكل ١٨ - بلورة أكسينيت
تريكلينيك - نظام ١̄

شكل ٢١ - بلورة هورنبلند
مونوكلينيك - ٢/م

شكل ٢٠ - بلورة بيروكسين
مونوكلينيك - نظام ٢/م

شكل ٢٢ - بلورة أورثوكلاز
مونوكلينيك - نظام ٢/م

شكل ٢٣ - بلورة هيمورفيت - أورثورومبيك - نظام مم



شكل ٢٥ - بلورة كبريت
أورثورومبيك - نظام ممم

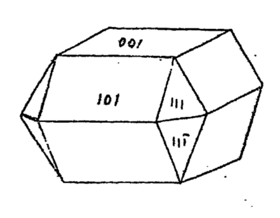
شكل ٢٤ - بلورة باريت - أورثورومبيك - نظام ممم

شكل ٢٧ - بلورة تورمالين
تريجونال - نظام ٣م

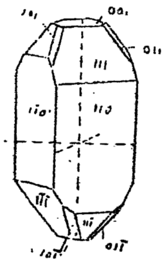
شكل ٢٦ - بلورة شتوروليت
أورثورومبيك - نظام ممم

شكل ٢٨ - بلورات كالسيت - تريجونال
نظام ٣ م

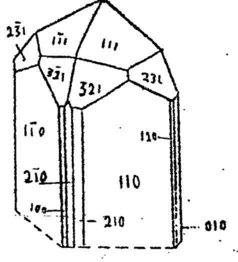
شكل ٢٩ - بلورة كوارتز - تريجونال - نظام ٢٣



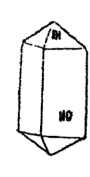
شكل ٣٠ - بلورة شيليت - تتراجونال
نظام ٤/م (من القطر المصرى)



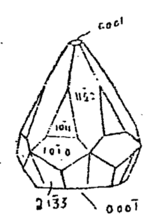
شكل ٣١ - الشكل العام لبلورة معدن كالكوبيريت
تتراجونال - نظام ٤̄ ٢ م



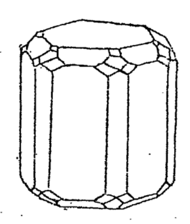
شكل ٣٢ - بلورة كاسيتيريت - تتراجونال
٤/م م م (من القطر المصرى)



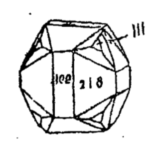
شكل ٣٣ - بلورة زيركون
تتراجونال - نظام - ٤ /م م م



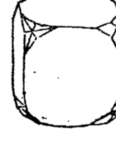
شكل ٣٤ ـ بلورة زنكيت
هيكساجونال ـ نظام ٦ مم



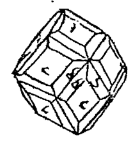
شكل ٣٥ ـ بلورة بيريل
هيكساجونال ـ نظام ٦/ممم



شكل ٣٦ ـ بلورة بيريت
كيوبيك ـ نظام م ٣



شكل ٣٧ ـ بلورة فلوريت
كيوبيك ـ نظام م ٣م



شكل ٣٨ ـ بلورة جارنيت
كيوبيك ـ نظام م ٣م

للتعرف على أسماء المعادن السابقة إرجع لكتاب علم المعادن الجزء الثانى المؤلف :

التجمعات البلورية

الجزء الأكبر من عينات أو كتل المعادن الموجودة عبارة عن تجمعات لبلورات غير كاملة وكثير من العينات التى تظهر للعين متجانسه تماما وبها بنيه متبلورة ماهى إلا حبات متبلورة وتحت هذا العنوان يمكن وضع جميع التجمعات البلورية للبلورات غير المبسطه .

والانواع التى تشمل بلورات غير مكتمله يمكن حصرها فى الآتى :-

١ - أعمدة أو خيوط وبنيتها فى هذه الحالة أسطوانية (على شكل أعمدة) أو خيطية .

٢ - صفائح رقيقة وتعطى بنيه صفائحية .

٣ - حبات وتكون بنيه حبيبيه .

وسنشرح بالتفصيل كل من هذه الحالات .

بنيــات أسطوانية أو خيطية

والمعدن يكون له شكل أسطوانى عندما يتكون من أعمدة أسطوانية مثل بعض الأمفيبولات . وعندما تكون مفرداتها مفلطحة مثل حـــد المطواه كمعدن الكيانيت يسمى شكلها نصلى .

ويسمى الشكل خيطى عندما يتكون المعدن من خيوط مثل الأسبستوس .

والخيوط قد تكون قابله للانفصال أو لا . ويوجد تدرج كبير بين الأنواع الاسطوانية السميكه والخيطية والأنواع الخيطية لها عموما بريق حريرى . ومن الأنواع الاسطوانية أو الخيطية ما يأتى :-

شبكية : وتتكون عندما تكون الخيوط أو الاعمدة متقاطعة فى اتجاهات مختلفة وتعطى مظهر مشابه للشبكة .

نجمية : وتتكون عندما تشع من مركز فى جميع الاتجاهات معطيه شكلا يشبه النجمه مثل معدن ستلبيت ، وافيليت .

شعاعى أو مشعب : يتكون عندما تشع البلورات من مركز من غير أن تكون شكل نجمه ، مثل معدن : كوارتز ، ستبنيت .

بنيـــه صفائحية : وتسمى بنية المعدن صفائحية عندما تحتوى على صفائح أو أوراق . والأوراق قد تكون منحنية أو مستقيمة ، وعلى ذلك تعطى أشكالا صفائحية منحنية أو صفائحية مستقيمة . مثل معدن ولاستونيت وبعض أنواع الجبس والتلك الخ ...

وإذا كانت الصفائح تقريبا متوازية حول مركز مشترك يكون الشكل متراكز . وعندما تكون الرقائق رقيقة وقابله للانفصال تسمى البنيه مصفحة أو ورقية . ومن أمثلتها الواضحة الميكا والاسم ميكانى يستعمل ليعنى هذا النوع من البنيه .

بنيـــه حبيبية (جرانيولار) وتختلف حجم أجزاء البنيه الحبيبيه . فعندما تكون خشنه تسمى حبيبية خشنة ، وعندما تكون دقيقة تسمى حبيبية دقيقة .

وأستعملت أسماء أخرى مثل : فانيروكريستالين Phanero – crystalline عندما تكون الحبيبات واضحة ، كريبوكريستالين (Crypto – erystalline) أو خفية التبلور عندما لا يمكن رؤيتها بالعين المجرده بالرغم من إمكان رؤية بنيه متبلورة فيها بالميكروسكوب . والمعادن الحبيبية إذا كان تنفتت بالضغط عليها تسمى هشه .

الأشـــكال التقليدية : وسنعطى هنـا بعض الألفـاظ التى تستعمل لوصف الاشكال التقليدية للمعادن الكتليه .

شكل الـكلى (Reniform) وتكون البنيه إشعاعية أو متراكزة مثل الهماتيت .

بوترويدال (Botryiodal) شكل عنقود العنب مثل ليمونيت ، كالسيدونى .

كروى (Globular) وشكلة تقريبـا كروى وقد تكون الكريات محتوية خيوط إشعاعية أو غطاء متراكز .

عقـــدى (Nodular) وهو شكل العقد أو له نتوءات على السطح .

شكل الشجرة (Dendritic) وهو له أفرع متشابه كفروع الشجر فمن الذهب الدنقرتي مثلا ويستعمل الاسم للاشكال المشابهه حتى إذا لم تكن متبلورة مثل شجيرات أكاسيد المنجنيز التى تتكون على سطح الحجر الجيرى .

إبرى (Acicular) إسطوانى وصلب مثل الإبرة مثل معدن ستبنيت .

شبكى (Reticulated) مثل الشبكة .

ستلاكتيتى (Stalactitic) عندما يوجد المعدن فى أعمدة مدلاه ، أسطوانات أو أقماع مستطيله وهى تنتج من سريان المياه الحامله المعدن المذاب فى المحلول خلال الأسقف الصخرية للكهوف . وبتبخر المياه يترسب المعدن فى هذه الصورة الاسطوانية المدلاه وقد تكون بنيتها الداخلية متبلورة تماما وحبيبيه أو قــد تحتوى خيوط إشعاعية من العمود المركزى . ومن أمثلتها المعروفة معدن الكالسيت .

الكالسيدونى ، ليمونيت وبعض المعادن الأخرى توجد أيضا فى الشكل الاستلاكتيتى

اللفظ غروى (Amorphous) يستعمل عندما لا يكون المعدن فقط بدون شكل بلورى أو تقليدى ولكن أيضا بدون تبلور وترتيب ذرى داخلى أى منعدم التبلور مثل معدن الأوبال .

بلورات كاذبة الشكل (Pseudomorphous) كل معدن متبلور له عند التبلور شكل معين مميز . ولكن أحيانا يوجد بعض المعادن لها أشكال التبلور لمعدن آخر مخالف له فى التركيب الكيمائى . مثل الهماتيت الذى يوجد فى شكل مكعبات البيريت .

الباب الثالث

بعض المبادىء فى علم الضوء

طبيعة الضــــوء :

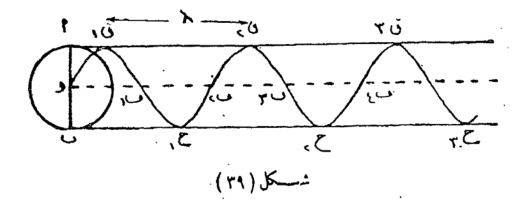
الضوء هو نوع من أنواع القدرة والذى يمكن اعتبارة محتويا على حركة متموجة . ونظرا لأنه عندما تبدأ هـــذه التموجات فى نقطة ما فهى تنتشر فى جميع الاتجاهات فقد اعتبر انتشار الضوء ، بواسطة حركة الموجة لهذه المادة ، التى تملأ الفراغ أى الاثير .

وطبيعة هذه التموجات تماثل ما نحصل عليه من تحرك أجزاء المياه نتيجة لحركة الموجة الناتجة من القاء حجر مثلا على سطح ساكن من المياه كبحيرة أو مصرف .

أى جزء من المياه يتحرك فى دائرة محدودة أحد قطريها يوازى حركة الموجة والقطر الآخر فى حركة علوية وسفلية . والموجة بجمعة تتحرك متجهة للخارج فى اتجاه افقى فى جميع لاتجاهات من نقطة الاضطراب .

حركة الموجة :

اذا جمعنا ذبذبة ائتلافية بسيطة مع حركة منتظمة فى اتجاه عمودى على اتجـــاه الذبذبه نحصل على منحنى ائتلافى كما هو مبين (شكل ٣٩) حيث نجد أن ذبذبة ائتلافية بسيطة تبدأ فى النقطه وتتذبذب من أ إلى ب أخ تجمع مع حركة منتظمة من و إلى ف$_{١}$ ؛ ف$_{٢}$ أخ .. الحركة الناتجة تصبح فى اتجاه و ق$_{١}$ ف$_{١}$ ح$_{١}$ ....



شــكل (٣٩)

وتسمى أكبر نقطة للزحزحة العلوية بالقمة (ق) وأكبر نقطة للزحزحة السفلية بالقاع أو الحضيض (ح).

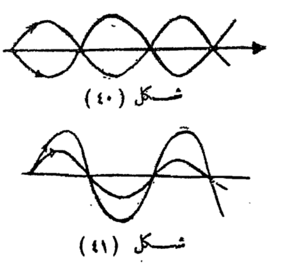
طول الموجـــة :

طول الموجة هو عبارة عن المسافة بين نقطتى قـــة أو قاع متتاليتين أو ما يقابلها على الموجة. ويرمز لها بالرمز اللاتيني حرف لامده (λ) وهي تقاس بجزء على مليون من المليمتر (m μ) أو الميكرون.

وجهة الموجة : (Phase)

وجهة الموجة فى أى لحظة هو الوضع النسبي لنقط متطابقة على موجات مختلفة متحركه على نفس الخط.

ويقال أن موجتين فى نفس الوجه عندما يكونان فى نقط متقاربة من ذبذبتاهما. وعندما يكون الفرق فى الوجه بين موجتين هو نصف طول موجة ($\frac{1}{2}$ λ) تصبح ذبذباتها متشابهة ولكن فى اتجاه مضاد. فاذا كانت إحداهما فى القمة مثلا تكون الاخرى فى الحضيض (شكل ٤٠)



شـــكل (٤٠)

شـــكل (٤١)

سعة الموجـة :

هى الازاحة الكبرى للموجة من خط الارسال، والشكل (٤١) يمثل موجتين مختلفتين فى السعه ولكن متشابهتين فى الوجه أى فرق الوجه بينهما ١ λ أو مضاعفاتها.

المـــدة :

مـدة الذبذبة هى الزمن اللازم لنقل الجزء أو الجسم من أى نقطة وبالعكس إلى نفس النقطة عندما يـير فى نفس الاتجاه ، أو بمعنى آخر هى الزمن اللازم للموجة لتعمل ذبذبة كاملة

حزمة ضوئية :

هى حزمة من الموجات الضوئية لها نفس الاتجاه.

شعـــاع :

هو مفرد من الحزمة الضوئية ويمثل اتجاه ارسال حركة الموجة .

سطح الموجة :

اذا حدثت حركة لموجة ضوئية من نقطة فى الاثير أو الفراغ فانها تنتشر من هـــذه النقطة للخارج فى جميع الاتجاهات بنفس السرعة . وعلى ذلك فى أى لحظة يكون نفس الوجة للموجات على مسافات متساوية من مركز البداية . والسطح الذى يربط جميع هذه النقط يسمى سطح الموجة،وفى هذه الحالة أى حالة لاثير يكون عبارة عن سطح كروى(شكل ٤٢).ويراعى أن شعاع الضوء فى هذه الحالة الممتد من مركز الارسال لأى نقطة على سطح الموجة يكون عموديا على المماس عند هذه النقطة.واذا كانت حركة الموجة مرسلة من نقطة بسرعات تختلف تدريجيا تبعا للاتجاه، يصبح سطح الموجة معوج .

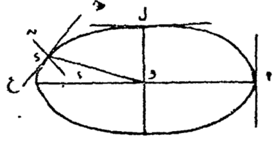
المـواد الايزوتروبية :

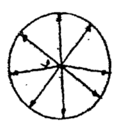
المواد الايزوتروبية (والفراغ والاثير) هى التى تنقل الضوء بسرعة متساوية فى جميع الاتجاهات.وهى تضم جميع الغازات وأغلب السوائل والزجاج بأنواعه والبلورات الايزومترية (كفصيلة الكيوب أوالمكعب) ذالم تتأثر بأى ضغط أو شد . ويكون سطح الموجة فيها كروى (شكل ٤٢)

المواد الغير ايزوتروبية :

وهى التى تنقل الضوء بسرعات متغيرة فى الاتجاهات المختلفة ويدخل من ضمنها جميع البلورات ماعدا المجموعة الايزومترية الغير متأثرة بقوة ضغط أو شد .

فى هذه البلورات الغير ايزومترية تختلف السرعة تدريجيا مع الاتجاه حتى تصبح أغلب قطاعات سطح الموجة هليلجى (شكل ٤٣) .





شكل (٤٢) ايزوترويى　　　　شكل (٤٣) غير ايزوترويى

وفى هذه الحالة يكون شعاع الضوء (و ى مثلا) من المركز إلى أى نقطة على سطح الموجة غير عمودى على المماس المار بهذه النقطة إلا فى حالة انطباق الشعاع مع المحور الاكبر والأصغر للشكل الهليلجى ويسمى الخط (ن ى) العمودى عـــلى مستوى المماس (ه ع) بعمود الموجه .

أما مستوى المماس لسطح الموجه عند النقطه التى يصل اليها الشعاع فتسمى جبهه الموجه لهذا الشعاع .

تداخل حركة الموجات :

اذا سارت موجتان فى نفس الاتجاه وفى نفس مستوى الذبذبه فانها يتداخلان ليعطيا موجة أخرى تعتمد خواصها على طول ومدة وسعة ووجـــه الموجات الاصلية . ويمكن بسهولة معرفة الموجه الناتجة فى أى حالة مبسطة ، ومن أمثلة ذلك :ـ

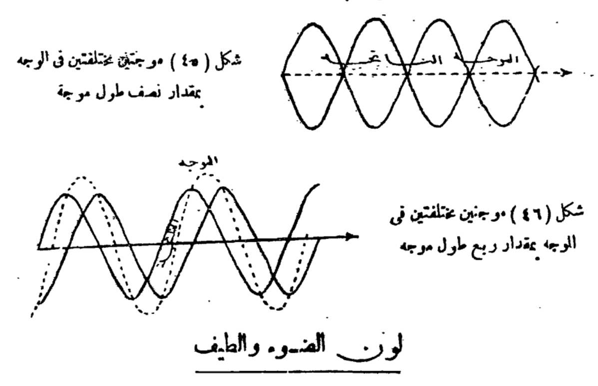
اذا كانت الموجات الاصلية لها نفس طول الموجة ونفس المدة ونفس الوجه فتكون الموجة الناتجة ذات سعة مساوية لمجموع سعتى الموجتين الاصليتين (شكل ٤٤) .



شكل (٤٤)

أما اذا كانت الموجتين الاصليتين متشابهتين ولهما فرق وجه يساوى نصف طول موجة فتصبح سعة الموجة الناتجة صفر ، وعلى ذلك لا يوجد أى ضوء (شكل ٤٥) .

واذا كانت الموجتين متشابهتين ويختلفا فى الوجه بمقدار ربع طول موجـــة مثلا تصبح سعة الموجه الناتجه عبارة عن المجموع الجبرى للموجتين الاصليتين (شكل ٤٦) ، وقس على ذلك فى الحالات المختلفه يؤخذ المجموع الجبرى لمكونات الموجتين .



شكل (٤٥) موجتين مختلفتين فى الوجه بمقدار نصف طول موجة

شكل (٤٦) موجتين مختلفتين فى الوجه بمقدار ربع طول موجه

لون الضـوء والطيف

تحدد سعة ذبذبة الموجه درجه لمعان الشعاع ، وعندما يمر الضوء فى الاجسام المختلفه تتغير سرعته ، وعلى ذلك يحدث تغير مقابل فى طول الموجه أو التردد ، ويحدث التغير فى طول الموجه نظرا لأن مدة الذبذبة تبقى ثابته بالنسبه للون معين . وتختلف طول الموجه حتى بالنسبه لنفس اللون فى الاجسام المختلفه ويمكن القول بأن اللون يتحدد بعدد الذبذبات فى الثانيه أو تردد الموجات التى تصل للبصر .

وتختلف موجات الضوء المنظور فى الطول ، فالحمراء هى الاطول والبنفسجية الاقصر . والجزء من الطيف المنظور بالعين المجردة يختلف فى حدود ضيقه .

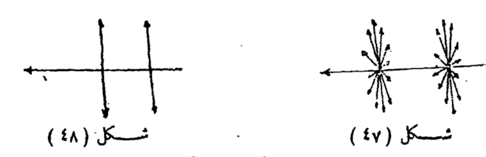
أما الضوء الابيض أو العادى فهو مجموعة من أطوال الموجات المنظورة مجتمعه . واذا لاحظنا أحداها فقط فيسمى الضوء احادى اللون . والضوء الابيض يحتوى على سبعة ألوان مختلفة وهى تتدرج من بعضها البعض مكونة طيف مستمر. وتمثل ألوان الطيف باختبار أطوال موجات تمثل متوسط الموجات للالوان المختلفه كما هو مبين فى الجدول الآتى بالمليميكرون (μ) (م م - mm)

أحمــــر	٧٠٠ م م	أزرق	٤٧٠ م م
برتقــالى	٦٢٠ م م	نيـــلى	٤٤٠ م م
أصفـــر	٥٦٠ م م	بنفسجى	٤١٠ م م
أخضـــر	٥١٥ م م		

أما الطيف الكهرومغناطيسى فهو يمتد فى خارج حدود الطيف المنظور السالف ذكره.

الضوء المستقطب :

ذكرنا أن الذبذبات تأخذ اتجاها عموديا على اتجـــاه الانتشار من نقطة الاختلال وفى الضوء العادى تتجه الذبذبات فى جميع الاتجاهات . فى مسطح عمودى على اتجاه الشعاع (كما هو مبين فى شكل ٤٧) .



شـــكل (٤٧) شـــكل (٤٨)

ولكن يسمى الضوء مستقطب مسطح أو باستعمال أسهل يقال مستقطب اذا اتخـــذت الذبذبات اتجاها واحدا فقط فى هذا المسطح (كما هو مبين فى الشكل ٤٨) حيث نجد أن جميع الذبذبات تقع فى مسطح والضوء يقال مستقطب فى هذا المسطح .

بعض البلورات ، كما سنبين بعد ذلك بالتفصيل لها خاصية اجبار ذبذبات الضوء العـادى المعقدة لتأخذ اتجاهها فى مسطحين متعامدين .

الانكسار الثنائي :

فى المواد الايزوتروبية كما ذكرنا من قبل تتساوى السرعة فى جميع الاتجاهات أو بمعنى آخر قيمة معامل الانكسار تبقى ثابته فى جميع الاتجاهات . واذا دخل شعاع من الضوء فى هذه المواد الايزوتروبية يبقى شعاع واحد مع أنه يتغير فى الاتجاه . وعلى ذلك يقال أن المواد الايزوتروبية أحادية الانكسار ولكنها تختلف فى المواد الغير ايزوتروبية ، فشعاع الضوء الذى يمر فى مادة ايزوتروبية إلى مادة غير ايزوتروبية ينفصل إلى شعاعين منكسرين وتسمى هذه الخاصية الانكسار الثنائى .

جميع المواد الغير ايزوتروبية تعطى انكسارا ثنائيا، اذا أخذ نوعا معين من معدن ايسلاند سپار (كالسيت نقى شفاف) ووضعناه فوق نقطة سوداء، فنرى من خلاله صورتان لهذه النقطة السوداء . واذا أدير المعين نجد إحدى هاتين الصورتين تبقى ثابته وتتحرك حولها الصورة الثانية . وتسمى الصورة الغير متحركة بالصورة العادية (ع) لانها تتكون من الشعاع العادى الذى مر فى الكالسيت كأنه فى مادة ايزوتروبية (شكل ٤٩) وتسمى الصورة المتحركة بالغير عادية (غ) ، والشكل (٤٩) يمثل لنا مسار كل من الشعاعين، ونلاحظ أن الشعاع الغير عادى ينكسر عند تقابله بسطح المعين وينكسر مرة أخرى عند ترك الشكل المعين بالرغم من أن الشعاع الساقط عمودى على اتجاه سطح المعين ووجد بالتجربة أن الشعاع العادى يخالف الشعاع الغير عادى فى السرعة ، وضوء الشعاع العادى والغير عادى مستقطب ومتعامد ويحتوى الشعاع العادى على ضوء يتذبذب موازى لحدود الزوايا الاطول فى المعين بينما يتذبذب ضوء الشعاع الغير عادى موازيا لحدود الزوايا الاقصر فى المعين

شكل (٤٩)

منشور نيكول:

من اللازم لدراسة المعادن بالميكروسكوب أن يكون لدينا ضوء مستقطب . وأحسن

طريقة الحصول على ضوء مستقطب هو بواسطة استعمال منشور نيكول . وهو يعتمد فى عمله على خاصية الانكسار الثانى لمعدن الكالسيت الشفاف. يؤخذ معين من الايسلاند سبار مستطيل وتبرد أطرافه الى أن تعمل زاوية مقدارها ٦٨° بالنسبة للطرف الطويل . ثم يقطع المعين إلى جزئين بالطول بمسطح يمر بالركن المحتوى على ثلاث زوايا منفرجة . ثم يلصق الجزئين ثانية بواسطة كندا بلسم (معامل انكسارها ١٫٥٤) ونتيجة لذلك يكون ميل هذا المسطح من كندا بلسم بطريقة تحدث انعكاس كلى للشعاع العادى وتسمح بمرور الشعاع الغير عادى (شكل ٥٠) .
ويلاحظ فى الشكل (رقم ٥٠) أن الشعاع الساقط (ش س) عندما يدخل من أحد أطراف المعين ينكسر ثنائيا معطيا الشعاع العادى ش ع والشعاع الغير عادى ش غ .

شكل ٥٠ ـ منشور نيكول

ويقابل الشعاع العادى طبقة البالسم بزاوية أكبر من الزاوية الحرجه فيحدث له انعكاس كلى ويخرج من جانب المعين وعلى ذلك لا يمر للجانب الآخر من المعين . أما الشعاع الغير عادى فيمر فى المعين ويخرج كضوء مستقطب من الجانب الآخر .

وبما أن الشعاع الغير عادى هو الذى يمر . فيكون اتجاه ذبذبة الضوء المستقطب موازيه لمحور الزوايا القصير فى المعين .

الميكروسكوب المستقطب :

ويسمى أيضا ميكروسكوب الصخور ويستعمل لدراسة القطاعات فى المعادن والصخور واجزائه تشابه الميكروسكوب العادى مع زيادة فى بعض الاجزاء كالمستقطب والمحلل والعدسة المجمعة وعدسة برتراند التى تستعمل فى حالة خاصة سنذكرها فيما بعد .

ـ ويوضع أحد منشورى نيكول أسفل الدائرة المدرجة للميكروسكوب (المسرح) ويسمى المستقطب والآخر يوجد غالبا فى أنبوبة الميكروسكوب بين العينية والشيئية ويسمى المحلل (شكل ٥١) . وتوجد فتحة فى أنبوبة الميكروسكوب بين المحلل والشيئيه . وتوضع عدسة مجمعة بين المستقطب

والمســـرح ، وتستعمل مرآة من أسفل لعكس الضوء على المستقطب فيمر فيه إلى القطاع الموجود على المسرح ثم فى العدسة الشيئيه، فالعينية لرؤيته. ويوجد بالعينية شعرتين متعامدتين .

ويمكن وضع أو تنحية المستقطب والمحلل ، والعدسة المجمعة من المجموعه الميكروسكوبية تبعا للاستعمال . وتعتمد قوة تكبير الميكروسكوب على العدسات المستعمله ويمكن تغييرها بتغيير عدسات الشيئيه أو العينية.

وتختلف أماكن واجزاء الميكروسكوب تبعا للماركات المختلفة فالبعض منها يستعمل للاستقطاب، المستقطبات ، بدلا من منشور نيـــكول المرتفع التكاليف على سبيل المثال . وعلى ذلك فمن المستحسن أن يتعرف الطالب على نـــوع الميكروسكوب الذى يستعمله واجزاءه المختلفة قبل استعماله

شكل (٥١) - الميكروسكوب المستقطب (ماركة رايخارت)

١ - مرآة
٢ - مستقطب (نيكول سفلى)
٣ - حاجب الضوء
٤ - مجمـــع
٥ - المسرح (أو دائرة الميكروسكوب)
٦ - مسمار المركزة
٧ - ماسك القطاع
٨ - عدسات شيئيه
٩ - فتحة الشرائح المساعدة
١٠ - المحـــلل (نيكول علوى)
١١ - انبوبة الميكروسكوب
١٢ - العينية
١٣ - مسمار الضبط الكبير
١٤ - مسمار مدرج الضبط الخفيف
١٥ - زواع الميكروسكوب
١٦ - محور امالة الميكروسكوب
١٧ - مسمار لايقاف امالة الميكرسكوب
١٨ - قاعدة الميكرسكروب

الباب الرابع

طبيعة المعـــادن والبلورات

١ — المواد الايزوتروبية

كما ذكرنا من قبل ترسل المواد الايزوتروبية الضوء فى جميع الاتجاهات بسرعة متساوية . فبلورات فصيلة المكعب والاجسام الصلبة عديمة التبلور والسوائل والغازات تعتبر مـــواد ايزوتروبية اذا كانت ساكنة .

والضوء المرسل من مصدر فى وسط ايزوتربى يتحرك للخارج فى جميع الاتجاهات بنفس السرعة . ويكون سطح سرعة الشعاع (أو يسمى أيضا سطح الشعاع أو سطح الموجة) عبارة عن كره . وتتبع المواد الايزوتروبية القوانين العادية للانعكاس والانكسار .

استعمال النيكول المتعامد مع المواد الايزوتروبية

بما أن المعادن الايزوتروبية أحادية الانكسار ، فاذا وضعت شريحة (أو قطاع رقيق) على دائرة الميكرسكوب مابين النيكول المتعامد فانها تسمح للضوء المستقطب المار من النيكول السفلى (المستقطب) أن يمـــر بالقطاع دون أن يتغير من ناحية اتجاه الذبذبة . وعلى ذلك فالمجال المظلم الناتج من تعامد النيكول لا يتأثر بوضع القطاع الايزوتروبى .

وواضح أيضا أن تحريك قطاع المعدن على دائرة الميكرسكوب لا يغير من هذه الحالة . وعلى ذلك يمكن وضع قاعدة عامة وهى :-

أن المواد الايزوتروبية تعطى اظلام تام بين النيكول المتعامد فى جميع أوضاع الدوران .

خواص المعادن الايزوتروبية بدون استعمال النيكول المتعامد

يمكن ملاحظة عدة خواص فى المعـــادن الايزوتروبية بدون استعمال النيكول أو باستعمال النيكول السفلى فقط ومن هذه الخواص .

١ - لون القطـاع : وقد يكون عديم اللون أى شفاف أو له لون مميز فى بعض حالات المعادن

ب - الشكل : وقد يكون قطاع المعدن عديم (بدون أوجه بلوريه) أو ناقص الشكل أ كما الشكل . وذلك في حالة وجود قطاع في بلورة المعدن محدد بالاوجه كاملة . كما ق يوجد أيضا بعض الاشكال الاخرى والتي سبق أن ذكرت مع التجمعات البلورية .

حـ - الانفصام : وقد يظهر في قطاع المعدن انفصام أو أكثر وتكون الزاوية بين اتجاهات الانفصام مميزة لكل معدن .

ى - التشقق : وهى وجود شقوق في المعدن وتختلف عن الانفصام في كونها في اتجاهات غير مستقيمه .

هـ - المحتويات : وتوجد على شكل مواد غريبة موجوده في المعدن وتختلف عن التغير الذى يحدث في المعدن نتيجة للتآكل الكيمائى أو التحلل في نفس المعدن .

و - الحدود الخارجية وبروز المعادن :

لدراسة المعدن تحت الميكروسكوب يثبت في ماسك (لاصق) مثل كندا بلسم أو اذا كان لدراسة مؤقته يغطس في سائل . وتتكون سطوح قطاع المعدن أو أجزاء المعدن من نتوءات صغيرة وانخفاضات فتعكس أو تنكسر الضوء بزوايا مختلفه وعلى ذلك يظهر سطح المعدن كأنه محفر.

وكلما زاد الفرق بين معاملى انكسار المعدن والماسك كلما زاد ظهور خشونة سطح المعدن وعلى ذلك اذا وضع معدن ذو معامل انكسار كبير في ماسك ذو معامل انكسار أصغر فانه يعمل وكأنه عدسة صغيرة . وأشعة الضوء التى تأتى من أسفل المعدن تظهر وكأنها آتية من نقطة أعلى قليلا من الحقيقة . ويقال أن هذا المعدن يظهر في وضع بروز بالنسبة للاشياء المحيطة به واذا تساوى معامل انكسار المعدن والماسك يصبح المعدن غير مرئى . والمعادن التى يفرق كثيرا معامل انكسارها عن معامل انكسار الماسك يظهر لها حدود مظلمة ناتجة من ظل يحدث من الانعكاس الكلى .

ويجب ان نلاحظ أن هذه الظاهرة يمكن أن تحدث أيضا مع المعادن اذا كان معامل انكسارها أكبر أو أيضا أصغر من الماسك .

ويعتمد البروز على الفرق بين معاملات انكسار المادة والماسك المنغمسة فيه ولا يعتمد على ما اذا كان الماسك المنغمسة فيه المادة له انكسار أعلى أو أقل منها .

ز - قياس معـــامل الانكسار :

من أهم الطرق لمعرفة نوع المعدن أو المادة هو معرفة معامل انكسارها وتوجد طرق كثيرة فى علم الطبيعة لقياس معامل انكسار السوائل والمواد الصلبة ، وأهمها طريقة الانغماس التى يقارن فيها معامل انكسار المادة الصلبة بوضعة فى وسط آخر ذو معامل انكسار معروف . وتوجد أجهزة كثيرة لقياس معامل انكسار المواد الصلبة والسوائل مباشرة ومنها جهـــاز قياس الانكسار الذى يستعمل فى القياس المباشر لمعامل انكسار السوائل .

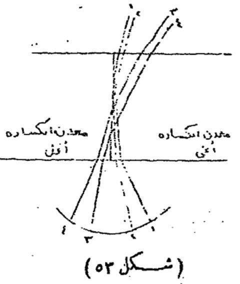
ويمكن قياس معامل الانكسار لمادتين شفافتين متلاصقتين بطريقتين هامتين هما الاضاءة المركزية والاضاءة المائلة .

طريقة الاضاءة المركزية واختبار بيـــكا

يمكن مقارنة معامل الانكسار لمادة بالنسبة لمادة أخرى ملاصقة لها بملاحظة اختبار بيكا فى شكل (٥٢) معدن معامل انكساره منخفض على الشمال يلاصق معدن آخر معامل انكساره أكبر (على اليمين) وبسقوط حزمة ضوئية على الفاصل بين المعدنين نجـــد أن بعض الاشعة ينكسر والبعض الآخر يحدث له انعكاس كلى ونتيجة لذلك أن تتجمع الاشعة ناحية المعدن ذو معامل الانكسار الاعلى . ويظهر تحت الميكروسكوب خط رفيع من الضوء - خط بيـــكا - فى هذا الوضع . واذا رفعنا أنبوبة الميكروسكوب بالعدسة الشيئية يظهر خط بيكا وكأنه يتجه ناحية المعدن الاعلى فى معامل الانكسار شكل (٥٢) .

شكل (٥٢)
تأثير الاضاءة المركزية واختبار بيـــكا

الميكروسكوب مضبوط على المعدن فى وضع الوضوح — انبوبة الميكروسكوب رفعت قليلا لمعامل انكسار المعدن أكبر من الوسط — انبوبة الميكروسكوب رفعت قليلا لمعامل انكسار المعدن أصغر من الوسط

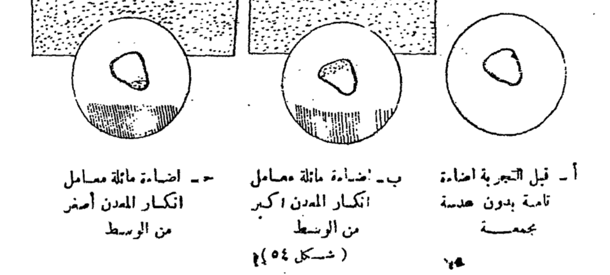


(شكل ٥٣)

وفى استعمال اختبار بيكا يظهر الخط قويا اذا استعملت العدسة الشيئية القوية وحاجب للضوء تحت دائرة الميكروسكوب لحجب بعض الضوء من المرور ويجب أن يتذكر الطالب هذه القاعدة بالنسبة لاختبار بيكا وهو أنه اذا رفعت الشيئية فنتيجة خط بيكا ناحية المعدن ذو معامل الانكسار الاعلى .

طريقة الاضاءة المائلة

طريقة أخرى لتعيين معامل الانكسار النسبي وخاصة فى المعادن المنغمسة فى سوائل هى طريقة الاضاءة المائلة . ويستعمل لذلك العدسة الشيئية الضعيفة ويوضع حاجب (من الورق المقوى . إلخ) مكان المجموعة المجمعة بعد ازالتها أى يوضع تحت دائرة الميكروسكوب بحيث يحجز نصف الضوء من المرور وبهذه العملية يظلم نصف مجال الرؤية وفى نفس الوقت يتسبب فى أضاءة النصف الآخر اضاءة قوية مائلة كما هو موضح فى شكل (٥٤) . ويمكن ان نحدد القاعدة الآتية : اذا ظهر الظل على المعدن فى نفس الناحية الموجود بها الحاجز يكون معامل انكسار المعدن أعلى من الوسط والعكس صحيح .



أ - قبل التجربة اضاءة تامة بدون عدسة مجمعة

ب - اضاءة مائلة معامل انكسار المعدن اكبر من الوسط

حـ - اضاءة مائلة معامل انكسار المعدن أصغر من الوسط

(شكل ٥٤)

يجب مراعاة أنه من الممكن استعمال حاجز الضوء أعلى العدسة الشيئية بوضعه فى فتحة الشرائح المساعدة (باستعمال المجموعة المجمعة) ولكن النتيجة قد تكون مثل أو عكس النتيجة السابقة معتمدة على طول بؤرة العدسة المجمعة.

ويوجد عادة فى أغلب الميكروسكوبات حاجز حديدى متحرك ومثبت تحت دائرة الميكروسكوب لاستعماله لعمل الاضاءه المائلة .

٢ ـ المواد الغير ايزوتروبية

المعادن أحادية المحور

تنقسم المواد الغير ايزوتروبية إلى قسمين أساسيين :ـ

١ ـ أحادية المحور : وهى التى تخص فصيلة تتراجونال وهيكساجونال (الرباعى والسداسى) .

٢ ـ ثنائية المحور : وهى التى تخص فصيلة أورثورومبيك ـ ومونوكلينيك ـ وتريكلينيك (المعين وذو الميل الواحد والثلاثة ميول) .

وعندما يدخل الضوء فى بلورة أحادية المحور يتحول إلى ضوء مستقطب ويتذبذب فى اتجاهين عموديين ، وكل شعاع فى البلورة له سرعة تعتمد على اتجاهه وذبذبته ، ويوجد اتجاه واحد فقط فى البلورات أحادية المحور يمر جميع الاشعة فيه بنفس السرعة . ويسمى هذا الاتجاه بالمحور البصرى وهو دائما موازى للمحور البلورى ج ، وبما أنه يوجد فقط اتجاه واحد كهذا فتسمى البلورات التى لها هذه الخاصية البصرية بأحادية المحور .

والمعادن أحادية المحور لها معاملين انكسار أساسيين ، فأى ضوء يمر فى أى اتجاه فيها ماعدا اتجاه المحور البصرى يحتوى على شعاعين بسرعتين مختلفتين .

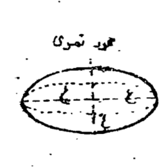
التمثيل الهندسى لتغيير معامل الانكسار

(أو شكل معامل الانكسار)

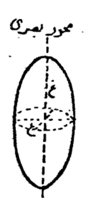
تغير معامل الانكسار مع اتجاه الضوء يمكن تمثيله فى شكل تغير الإنكسار فى المعادن

أحادية المحور . وهو شكل هندسى فى ثلاث اتجاهــات يبين تغير معامل الانكسار للموجات الضوئية فى اتجــاه ذبذبتها ، وكل نصف قطر يمثل اتجاه ذبذبة وطوله يعطى مقدار معامل الانكسار لموجة تتذبذب موازية له .

فى شكلى (٥٥ و ٥٦) يمثل أشكال معــامل انكسار لبلورات أحادية المحور موجبة وسالبة فشكل (١٧) شكل بيضاوى رأسى يرسم بشرط أن يكون نصف القطر الاكبر ونصف القطر الاصغر مساويان بالتوالى لمعاملى الانكسار الاكبر والاصغر فى البلورة أحادية المحور الموجبة



ش (٥٦) شكل معامل الانكسار لبلورة أحادية سالبة



ش (٥٥) شكل معامل الانكسار لبلورة أحادية موجبة

فاذا اعتبرنا مثلا أن المعامل الاكبر (غ) فى الرسم قيمته ٢ والمعامل الاصغر (ع) قيمته ١٫٥ فى البلورات الموجبة غ > ع (غ أكبر من ع) . والمستوى الافقى فى هذا الشكل عبارة عن دائرة نصف قطرها يساوى ع . أى قطاع عمودى على المحور غ أو مايسمى أيضا المحور البصرى هو موازى للمحور البلورى جـ يكون دئما دائرى فى حين أن أى قطاع آخر يكون هليليجى .
والمستوى الذى يحتوى المحور البصرى يسمى قطاع أساسى .

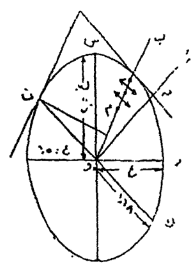
ويختلف شكل معــامل الانكسار فى البلورات السالبة عن الموجبة فى أنه بيضاوى أفقى ، وأن نصف محوره الاكبر والاصغر يساوى بالتوالى ع ، غ . فى شكل (٥٦) ع = ٢ ، غ = ١٫٥ وفى البلورات السالبة ع أكبر من غ .

ويلاحظ أنه اذا اقتربت ع من غ فى القيمة يتغير الشكل من بيضاوى إلى دائره وتصبح البلورة ايزوتروبية .

فوائد شكل معامل الانكسار

الفائدة الاساسية لشكل معامل الانكسار يمكن توضيحها كما فى شكل (٥٧) وهو يمثل قطاع أساسى (يمر بالمحور جـ) فى شكل معامل الانكسار لبلورة أحادية المحور موجبة وفيها غ = ٢ ، ع = ٥ر١

اذا افترضنا أن موجة ضوئية تتحرك فى الاتجاه و ن موازية لعمود الموجة فان الضوء فى هذه الموجة يتذبذب موازى ت ك وله معامل انكسار ـ و ت أو و ك وقيمته فى هذه الحالة ٦٨ر١ وتتحرك موجة أخـــرى فى اتجاه و ن ولكن هـذه الموجة تتذبذب فى اتجـاه عمودى على اتجاه سطح الرسم ولها معامل انكسار يساوى نصف قطر القطاع الدائرى الاستوائى لشكل معامل الانكسار . والموجة فى هذه الحالة معامل انكسارها ٥ر١ .



شكل (٥٧) قطاع أساسى فى شكل معامل الانكسار لبلورة أحادية المحور موجبة

ونجد عموما أن اتجاه انتشار الموجـة لا يكون هو نفس اتجاه انتشار الاشعة المكونه لها واكثر من ذلك من المعتقد من مراعاة النظرية الالكترومغناطيسية للموجة أن الشعاع يتذبذب فى اتجاه عمودى على اتجاه موجته ، وعلى ذلك فاتجاه الذبذبه لشعاع لا يشترط أن تكون عمودية على اتجاه الشعاع .

ولنحصل على اتجاهى الشعاعين للموجة المتحركه فى الاتجاه و ن فى شكل (٥٧) يرسم عمود من و ن مماسا لشكل معامل الانكسار . الخط من و إلى ب وهى نقطه التماس يعطى اتجـاه الاشعه فى الموجه . و ب ، و ت أنصاف أقطار مزدوجه .

تحتوى الاشعه على مكونتين أحـــدهما يتذبذب فى القطاع الاساسى (وهو الغير عادى) والآخر يتذبذب فى اتجاه عمودى عليه (العادى) ، وفى الشكل تمثل السرعه النسبيه واتجاه الذبذبة بالنقط والاسهم .

فالشعاع العادى الذى يتذبذب فى اتجاه عمودى على اتجاه القطاع الاساسى وله معامل انكسار ع سرعته $\frac{1}{ع} = \frac{1}{و ر}$

أما الشعاع الغير عادى يتذبذب فى القطاع الاساسى فسرعته ليست $\frac{1}{و ت}$ ولكن $\frac{1}{ت م}$

ونحصل على ت م برسم العمود من ت على و ب . سرعة الشعاع الغير عادى $\frac{1}{ت م}$ لان معامل الانكسار يساوى مقلوب سرعة الموجة فى اتجاه موازى لعمود الموجة . وعموما نجد أن اتجاه الشعاع لا ينطبق مع اتجاه عمود الموجه . ماعدا فى الحالة التى يكون فيها الشعاع فى اتجاه المحور البصرى أو نصف قطر استوائى فى شكل معامل الانكسار .

الضوء المتحرك فى الاتجاه و س أو المحور البصرى يتذبذب فى اتجـــاه موازى لجميع انصاف الاقطار للقطاع الدائرى الاستوائى فى شكل معامل الانكسار وهذا الضـــوء له معامل انكسار ثابت ع ،وفى هذا المثال يساوى ٥ر١ ، وجميع الاشعة الموازية للمحور البصرى تتجه موازيه لعمود موجتها ولها سرعة ثابته تساوى $\frac{1}{ع}$. اذا اعتبرنا الضوء المنتشر فى الاتجاه و ر فى اتجاه عمودى على المحور البصرى فهو يحتوى على موجتين أحدهما تتذبذب موازية للمحور البصرى (المكونه الغير عادية) والاخرى تتذبذب فى اتجاه عمودى على مستوى الرسم (المكونة العاديه) . والموجة الغير عادية معامل انكسارها غ والموجة العادية معامل انكسارها ع . وتسير الاشعة موازية لعمود الموجة وتتذبذب فى اتجاه عمودى عليه . وكل شعاع يحتوى على مكونتين تتذبذبان فى اتجاهين بالتبادل متعامدتين وسرعتها منتسبة لـ $\frac{1}{ع}$ ، $\frac{1}{غ}$ ومن المناقشة السابقة يتضح حقيقتين اساسيتين وهما :-

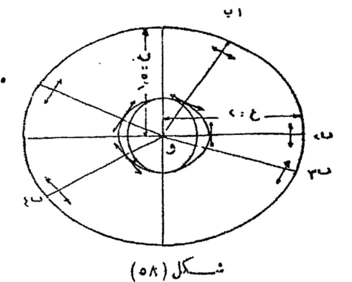
١ - الموجة التى تتذبذب فى القطاع الاساسى لها معامل انكسار يتغير تبعا لاتجاه انتشار الموجة ولذا تسمى بالموجة غير العادية .

٢ - الموجة التى تتذبذب فى اتجاه عمودى على القطاع الاساسى لها معامل انكسار ثابت ولهذا تسمى الموجة العادية .

الفرق الاساسى بين البلورات الاحادية المحور الموجبة والسالبة من ناحية الاشعة هو ان فى البلورات الموجبة الاشعة الغير عادية بطيئة السرعة أى أقل سرعة من العادية . والعكس فى البلورات السالبة أى الاشعة الغير عادية أكثر سرعة من العادية .

سطوح سرعة الشعاع

سطوح سرعة الشعاع (أو سطوح الشعاع) لها علاقة هندسية وحسابية بشكل معامل الانكسار وتعطى صورة منظورة لسرعات أشعة الضوء فى جميع الاتجاهات فى البلورة ويمثل



شسكل (٥٨)

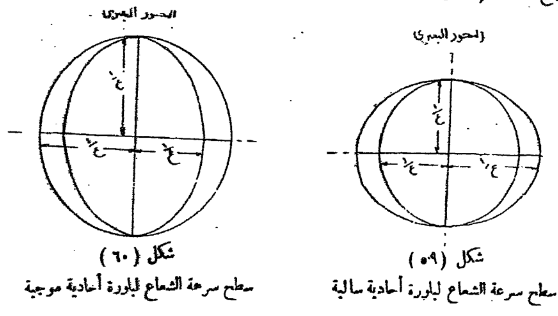
شكل (٥٨) العلاقة بين شكل معامل الانكسار وسطوح سرعة الشعاع فى بلورة سـالبة. أى شعاع و ب يحتوى على مكونتين أحدهما تتذبذب فى القطـاع الاساسى (فى مستوى الرسم) والاخرى عمودية على القطـاع الاساسى ،وفى البلورة السالبة المكون الذى يتذبذب فى القطـاع الاساسى (أو الرئيسى) يكون دائما أسرع من المكون العمودى عليه كما هو مبين فى شكل (٥٨) .

فالمكون العادى للشعاع و ب١ مثلا فى لحظة معينة يتحرك مسافة معادلة ا $\frac{1}{ع}$ وبالمثل للاتجاهات الاخرى و ب٢ ، و ب٣ وخلافه فانها تتحرك نفس المسافة . وتمثل سرعة المكون العادى لجميع الاشعة فى اتجاهين بدائرة مركزها و . وتمثل فى ثلاث اتجاهات بكرة مركزها و .

أما المكون الغير عادى المتذبذب فى القطاع الاساسى فى بلورة سـالبة فيتحرك بسرعة عظمى فى اتجاه عمودى على المحور البصرى (وسرعته $= \frac{1}{ع}$) وتصل سرعته للنهاية الصغرى المساوية لسرعة الشعاع العادى عندما يكون موازيا للمحور البصرى ، والعكس صحيح فى حالة

البلورات الموجبه كما هو مبين فى شكلى ٥٩ و ٦٠ وهما قطاعات أساسية لسطوح سرعة الشعاع لبلورات سالبه وموجبه والقطاع العمودى على المحور البصرى يحتوى على دائرتين أحدهما داخل الاخرى .

ويمثل التغير فى سرعة الاشعه الغير عاديه فى القطاع بشكل هليلجى وفى ثلاث اتجاهات بهليلج دورانى (شكل بيضاوى)



شكل (٥٩)
سطح سرعة الشعاع لبلورة أحادية سالبة

شكل (٦٠)
سطح سرعة الشعاع لبلورة أحادية موجبة

المعادن ثنائية المحور

تعريف : المعادن ثنائية المحور هى التى تحتوى على اتجاهين يسير فيها الضوء بسرعة متساوية ، وتتميز بثلاث محاور انكسار أساسية. وتحتوى جميع البلورات ماعدا فصيلة الكيوب (المكعب) التراجونال (الرباعى) والهيكساجونال (السداسى) .

شكل معامل الانكسار
أو الهليلج ثلاثى المحاور

يوجد عموما فى المعادن أو البلورات ثنائية المحور سرعتين لاى اتجاه انتشار وسرعه واحدة ومعامل انكسار لاى اتجاه ذبذبة .

وكما فعلنا فى البلورات أحادية المحور يمكن أن نستنتج فى البلورات ثنائية المحور جميع السرعات ومعاملات الانكسار لأى اتجاه انتشار وذبذبة من شكل واحد المسمى بشكل معامل الانكسار وهو فى هذه الحالة شكل هليلجى ثلاثى المحاور نجد فيه ثلاثة محاور التماثل معادلة لثلاث معاملات للانكسار وهى الاكبر (ك أو γ) والاصغر (ص أو α) والمتوسط (م أو β) وهو معامل الانكسار للضوء الذى يتذبذب فى اتجاه عمودى على اتجاه ذبذبة الحالتين السابقتين ك ، ص . ومعامل الانكسار المتوسط م هذا قيمته مابين ك ، ص مع أنه عموما لا يمثل القيمة الجبرية للمتوسط بين الاثنين .

ونظرا لأن الثلاث محاور غير متساوية فى شكل معامل الانكسار فى البلورات ثنائية المحور لذلك نجده ليس هليلجيا دورانيا انما هليلجيا ثلاثى المحاور . (كما هو مبين فى شكل ٦١) .

والثلاث مستويات ص م ، ص ك ، م ك عبارة عن مستويات التماثل فى هذا الشكل ولا يوجد مستويات تماثل غيرها . وجميع القطاعات التى تمر بالمركز و هليلجية الشكل ماعدا فى وضعين م س ، م س/ يصبح فيها القطاع دائرى .

وهذين القطاعين المستديرين يحتويان على المحور المتوسط م (أو β) ويتعامدا مع المستوى ص ك .

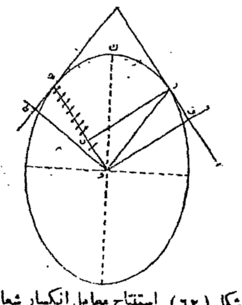
شكل (٦١)

الشكل الهليلجى ثلاثى المحاور لبلورة ثنائية المحور

ويجب أن يكونا مائلين على ص (أو ك) بنفس القيمة . هذه القطاعات الدائرية عمودية على أأ ، أ" أ" ويعرفوا بالمحاور البصرية الاولية .

اذا سار الضوء من النقطة و فى منتصف الشكل الهليلجى فى أى اتجاه مستوى تماثل مثل و ص ك ليقابل سطح الهليلج فى ه مثلا . فهو يحتوى عموما على شعاعين يتذبذبين فى اتجاه عمودى على بعضها البعض وفى نفس الوقت فى اتجاه عمودى على اتجاه عمود الموجه.

فالشعاع الأول يتذبذب موازى و م (أو β) وسرعته تساوى $\frac{1}{وم}$ ، أما الشعاع الثانى يتذبذب فى اتجاه عمودى على و م وفى نفس الوقت عمودى على عمود الموجة (شكل ٦٢) وبطريقة أخرى يمكن القول أن أحد الاشعة يتذبذب فى المستوى ك ص و ، عمودى على عمود الموجة والآخر يتذبذب فى اتجاه عمودى على هذا المستوى وعمودى أيضا على الشعاع وعمود الموجة.



شكل (٦٢) استنتاج معامل انكسار شعاع من الشكل المليلجى ثلاثى المحاور

اذا أقمنا العمود ور على و ى ليقابل سطح المليلج فى ر فان و ر يمثل معامل الانكسار للشعاع الثانى، $\frac{1}{ور}$ يمثل سرعة هذا الشعاع فى اتجاه عمود الموجة و ى . واذا اسقطنا العمود ن ر على و ه ليقابله فى النقطة ن يكون $\frac{1}{ون}$ يمثل السرعة الشعاع الثانى و ه فى نفس اتجاهه

وفى جميع الحالات يمتد الخط الذى يمثل معامل الانكسار من المركز إلى السطح فى اتجاه عمودى على عمود الموجة .

وأخيرا اذا سار الضوء فى أى اتجاه فى غير مستوى التماثل فى الشكل المليلجى فهو يحتوى عموما على شعاعين ولا يمكن استنتاج عمود الموجة ، واتجاه الذبذبة ، والسرعة، ومعامل الانكسار لها من شكل ذى اتجاهين كما ذكرنا سابقا ولكن من شكل اسطوانى فى ثلاث اتجاهات وأكثر تعقيدا .

المحاور البصرية :

الاتجاهان العموديان على القطاعين المستديرين فى الشكل المليلجى ثلاثى المحور يسميان بالمحوران البصريان (الاولية) ويرمز لهم بالرمز أ ، أ َ وبما أن الشكل الدائرى أقطاره متساوية فان

جميع موجات الضوء التي يوازي عمود موجتها أحـــد المحوران البصريان تنتقـل بسرعات مكوناتها متساوية في اتجاه عمود الموجه.

فالاشعة الموازية للمحور البصري لها كل الفرص الذبذبية في الاتجاه الموازي لكل أقطار القطاع الدائري . ويوجـــد فـرق زاوية بسيط بين اتجاهات المحاور الاولية أ أ ، أَ أَ واتجاهات أخرى تسمى المحاور البصرية الثانوية .

ولشرح الفرق بين المحاور الثانوية والاولية نعطي شكل مكبر يمثل جزء من شكل سطوح سرعة الشعاع عمودي على اتجاه المحور ب في بلورة من فصيلة الأورثورومبيك (المعين) (شكل ٦٣) تكبير فرق السرعة .

نجد في هـذا الشكل أن و هـ يمثـل محور بصري أولي عمودي على القطـاع الدائري الشكل الهليلجي في المركز ، و ر يمثل المحور البصري الثانوي . والمحور الأولي والمحور الثانوي ليست محـاور لا تعطي انـكسار ثنائي كما هو الحـــال في المحـور البصري لمعادن أحادية المحـور ولـكن عمود الموجـة الضوء المنتقـل في اتجاه المحور الاولي لا يغير اتجاهه .

والمحاور الاولية والثانوية لا يمكن تمييزها عن بعضها في أغلب المعادن بالطرق العـــادية اذ أن الفرق بينهما ضئيل جدا .

شكل (٦٣)

وفي شكل (٦٣) المستوى ب بَ مماس للسطح ق ل في النقطة هـ والسطح ف س في النقطة جـ . وفي نفس الوقت مماس لهذين السطحين في خط دائري مستمر فيه هـ ، جـ تمثل نهاية أطراف القشر المميز لتقاطع المستوى البصري .

ومستوى هذه الدائرة عمودي على مستوى الرسم .

المستوى البصرى — العمود البصرى — والمنصفان:

يقع المحوران البصريان فى المستوى المحتوى على أكبر وأصغر محور فى الشكل الهليلجى ثلاثى المحاور ، ويسمى هذا المستوى بالمستوى البصرى والمحور العمودى على المستوى البصرى يسمى بالعمود البصرى .

المحوران ص ، ك ينصفان الزاويتين المنحصرتين مابين المحاور البصرية فيسميان بالمنصفان ، فالذى ينصف منها الزاوية الصغرى (الحادة) المحصورة مابين المحورين البصريان يسمى بالمنصف الحاد والآخر الذى ينصف الزاوية المنفرجة يسمى بالمنصف المنفرج.

وتسمى الزاوية الحادة المحصورة بين المحورين البصريين بالزاوية البصرية ويرمز لها بالرمز ٢ أ وتسمى البلورات التى يكون فيها ك منصف للزاوية الحاده ببلورات موجبة (شكل ٦١) وذلك لانه اذا أصبحت الزاوية البصرية صفر فمعنى ذلك أن ينطبق المحوران البصريان ويصبح الشكل الهليلجى ثلاثى المحاور شكلا هليلجيا دائريا وينطبق محوره الاكبر مع المحور البصرى وهى حالة البلورات أحادية المحور الموجبة .

والبلورات التى فيها ص هى المنصف الحاد تسمى بلورات سالبة .

والزاوية المحصورة بين المحوران البصريان (٢ أ) لها علاقة بمعاملات الانكسار ك ، م ، ص (أو γ ، β ، α) يمكن بيانها كالآتى :—

$$ظا أ = \frac{\frac{1}{ص^2} - \frac{1}{م^2}}{\frac{1}{م^2} - \frac{1}{ك^2}}$$

ويمكن اختصار هذه المعادلة لتصبح سهلة باستعمال بعض التقريب فتصبح :—

الموجبة +　　　　　　السالبة —

$$ظا أ_ك = \sqrt{\frac{م - ص}{ك - م}} \qquad ظا أ_ص = \sqrt{\frac{ك - م}{م - ص}}$$

ويمكن للحصول على قيمة الزاوية أ و التعويض فى المعادلة الموجبه سواء اذا كانت البلورة موجبه أو سالبة وذلك اذا فهم جيدا أن التعويض فى المعادلة يعطى قيمة الزاوية المحصورة مابين ك

وأحد المحورين البصريين . ولنعرف من ذلك قيمة أ س يجب أن نطرح القيمة التي حصلنا عليها من زاوية ٩٠° في حالة البلورات السالبة لانه في هذه الحالة ص هي التي ستنصف الزاوية الحادة وليست ك.

وبطريقة أبسط يمكن القول أنه اذا عوض في المعادلة الموجبة بمعادلات الانكسار وكان ناتج البسط أصغر من المقام أي قيمة أ أقل من ٤٥° كانت البلورة موجبه والعكس صحيح .

ويلاحظ أنه يمكن الحصول على معادلات مشتقة من المعادلات المذكورة باستعمال جا أ ، جتا أ بدلا من ظا أ .

التوجيه البصري

توجد علاقه واضحة بين التماثل في البلورة وخواصها البصرية .

فالبلورات الايزوتروبية (كفصيلة الكيوب) والتي بها ثلاث محاور بلورية متساوية في نفس الوقت محاور تماثل أساسية نجد أن لها ايضاجيهة موجه ذات محاورمتساوية أي مستديرة .أما بلورات فصيلة التتراجونال والهيكساجونال فلها محور تماثل أساسي واحد ومحاور بلورية متساوية عودية على المحور السابق ، ولذلك نجد أن هذا المحور الاساسي هو عبارة عن المحور البصري ، والمحاور الاخرى في جبهة الموجة العمودية عليه متساوية .

ولا توجد فصيلة أخرى في البلورات لها محور تماثل أساسي (أي تتقابل في مستويات التماثل) وبالمثل لا توجد فصيلة في البلورات لها فقط محور بصري واحد .

بلورات فصيلة الاورثوروميك لها ثلاث محاور ثنائية التماثل وينطبقوا مع الثلاث محاور البلورية الغير متساوية وكذلك الثلاث المحاور في الشكل الهليلجي (ك ، م ، ص) موازية لها . وعلى ذلك في فصيلة الاورثوروميك يمكن أن ينطبق أي محور من الثلاث محاور الهليلجية مع أي محور من المحاور البلورية.

بلورات فصيلة المونوكلينيك لها محور واحد ثنائي التماثل (المحور البلوري ب) وينطبق معه دائما أحد محاور الهليلج الثلاثية ، ونظرا لعدم وجود محاور تماثل أخرى ليثبت مكان المحورين الهليلجيين الاخريين (وهما دائما متعامدين على بعضهما البعض) وعلى المحور الثالث ، فانهما يأخذان مكان في مستوى التماثل الذى يحتوى المحوران البلوريان أ ، ج والذى يختلف باختلاف التركيب الكيميائي للبلورة وكذلك في نفس البلورة باختلاف طول الموجة للضوء المستعمل .

وأخيرا بلورات فصيلة التريكلينيك ليس بها اى محاور أو مستويات تماثل وعلى ذلك تشغل محاور الشكل الهليلجي اى مكان في البلورة معتمدا على تركيب البلورة ونوع الضوء المستعمل ولكن دائما لا تزال المحاور الهليلجية متعامدة على بعضها البعض وعلاقتها ثابتة بالنسبة لنوع معين من الضوء أحادى اللون لكل البلورات التي لها نفس التركيب والنوع .

الباب الخامس

البلورات الغير ايزوتروبية فى الضوء المستقطب المستوى

١ - باستعمال النيكول السفلى

(التلون والامتصاص)

من أهم الخواص فى المعادن التى تدرس باستعمال الضوء المستقطب مع استعمال النيكول السفلى فقط خاصية التلون والامتصاص (وذلك بجانب معاملات الانكسار والخواص التى سبق ذكرها مع المعادن الايزوتروبية بدون استعمال النيكول) .

ويسمى المعدن متلون عندما يظهر تغير فى نوع أو كمية اللون عندما يدار تحت الضوء المستقطب. وخاصية التلون ناتجه من الامتصاص الغير متساوى فى المعدن للضوء المتذبذب فى المستويات المختلفة .

جميع المواد تمتص بعض الضوء الذى ينعكس أو ينكسر على سطوحها .

فى المواد الايزوتروبية لابد أن يكون الامتصاص فى جميع الاتجاهات،فى القطاع الواحد فى معدن ايزوتروبى يكون اللون ثابتا ويسمى غير متلون . والمعادن أحادية المحور فى القطاعات القاعدية تكون غير متلونة نظرا لانه فى هذه القطاعات تكون جميع الاشعة عادية . فى حين أنه فى القطاعات الرأسية قد تعطى فرقا كبيرا فى اللون . وفى هذه الحالة يختلف امتصاص الضوء فى اتجاه الشعاع العادى عن اتجاه الشعاع الغير عادى واذا كتب قانون الامتصاص فى معدن كالتورمالين مثلا يقال ع = قوى ، غ = ضعيف أو ع > غ لأن الامتصاص يكون ضعيفا عندما يكون المحور البصرى للتورمالين موازيا لاتجاه ذبذبة النيكول السفلى عنه عندما يكون المحور البصرى متعامدا مع اتجاه ذبذبة النيكول السفلى .

التلون: ويسمى تلون ثنائى فى حالة المعادن احادية المحور، يمكن كتابته بقانون التلون فمثلا فى حالة التورمالين يقال : ع = أصفر باهت ، غ = متعادل (رمادى) وبالمثل فى البلورات ثنائية المحور تتغير كمية الامتصاص ويصل إلى نهاية عظمى أو صغرى للضوء الذى يتذبذب موازيا لاحدى المحاور الثلاثه للشكل المليلجى .

وعلى ذلك فيكتب قانون الامتصاص كالآتى مثلا :

ص > (أكبر) م > ك ويعنى أن الامتصاص الاكبر فى البلورة يكون للضوء المتذبذب موازى ص والامتصاص الاصغر للضوء المتذبذب موازى ك . ويمكن أن يحدث الامتصاص لثلاث ألوان مع الضوء المتذبذب موازى للثلاث محاور الحليلجية فنحصل على قانون التلون فى معدن الهورنبلند العادى مثلا كالآتى :-

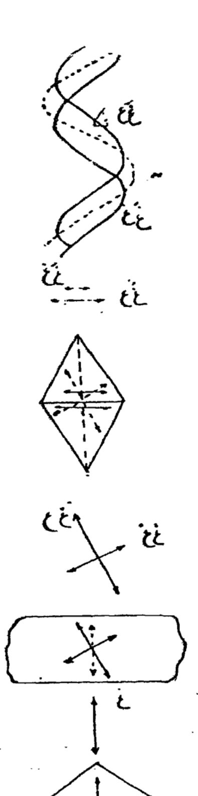
ص = أصفر فاتح . م = بنى غامق ك = بنى مخضر غامق .

٢ - باستعمال النيكول المتعامد

كما ذكر من قبل المواد الغير ايزوتروبية ثنائية الانكسار ، فأى شعاع ضوئى يسقط على قطاع منها ينقسم الى شعاعين يسيران بسرعتين مختلفتين وذبذباتهما متعامدين .

وأحد الشعاعين يسمى الشعاع السريع والآخر شعاع بطىء .

ولنفرض أننا وضعنا قطاع فى مادة غـــير ايزوتروبية متوازية الاوجـــه على المسرح لدراستها بين النيكول المتعامد . فأى شعاع ضـــوئى أحادى اللون (أى له طول موجة واحد) يترك المستقطب (النيكول السفلى) ، يتذبذب موازيا للمحور القصير فى النيكول (كما هو مبين فى شكل ٦٤) يحصل له انكسار ثنائى معطيا شعاعين يمران فى القطاع بسرعتين مختلفتين . وعلى ذلك يكونان مختلفان فى وجـــه الموجة عند تركهما القطاع ودخول المحلل (النيكول العلوى) وفى المحلل ينقسم كل من هذين الشعاعين مرة أخرى الى اثنين . واحد من كل جوز يمثل الشعاع العادى ويتذبذب موازى للمحور الاكبر فى المحلل وهذا لا يمر من المحلل كما ذكرنا من قبل . أما الآخرين وهما الغير عاديين ويتذبذبان موازيين للمحور القصير فى النيكول فيمران من المحلل . هذان الشعاعان المستقطبان يتذبذبان فى نفس المستوى ولهما نفس طـــول الموجة ، اذ أن الضوء المستقطب أحادى اللون ولكنهما قطعا مسافتين مختلفتين وعلى ذلك فيوجد فرق وجه بينهما . ويقال فى مثل هذه الظروف أنهما يتداخلان ليعطيا موجة ناتجة (ر) تعتمد على الفرق بين وجهى الشعاعين الاصليين ، فاذا فرضنا أنهما يختلفان بمقدار ١ ، ٢ ، ٣ أو أى عدد كامل من أطوال الموجة أى ن λ نجد أن الموجات فى هذه الحالة تتعاكس فتصبح قيمة



٧ ـ يختلف الشعاعين الخارجين فى وجه الموجة وعلى ذلك يتداخلان معطيان موجة ناتجة (ن) المبينه بالشرط .

٦ ـ يمر من القطاع شعاعين غ ع ، غ غ

٥ ـ المحـــلل

عندما يدخل الشعاعين فى المحـــلل ينقسم كل منهما الى ذبذبتـــين احداهما موازية للمحور الطويل فتنفصل دون أن تمـــر والاخرى موازية للمحور القصير فتمر.

٤ ـ يخرج من القطاع شعاعين غ ، غ متعامدين (غ غ ، غ ع)

٣ ـ قطاع المعدن الضوء من المستقطب يتحلل فيـــه الى اتجاهى ذبذبة موازية لاتجاهى الذبذبة فى القطاع .

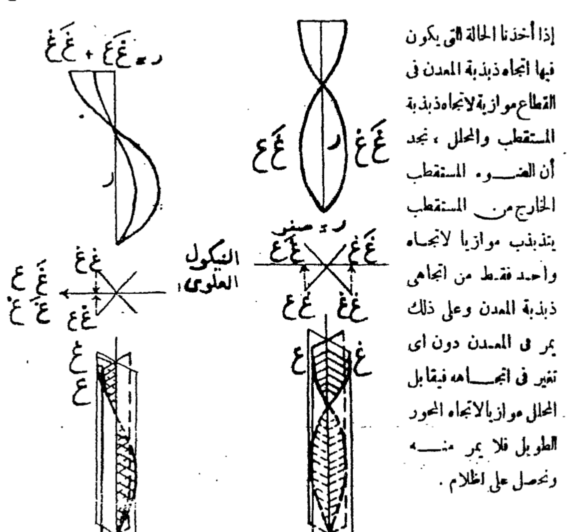
٢ ـ المستقطـــب يمر فيه الضوء ويـــتركه وذبذبته موازية للمحور القصير .

١ ـ مصدر ضوء عادى غير مستقطب

شكل (٦٤) تحلل الأشعه باستعمال النيكول المتعامد

الواحدة مقابلة لحضيض الاخرى على خط الارسال . ولذلك تلاشى إحداهما الاخرى شكل (٦٥أ) ولا يمر ضوء ويصبح ظلام . (وواضح أن هذا يجب أن يحدث بانتظام خلال دوران المسرح بالقطاع) .

وإذا فرضنا أن فرق الوجه بين الشعاعين هو $\frac{1}{2}$ ، $\frac{3}{2}$ ، $\frac{5}{2}$ أطوال موجة أى عدد خارج عن التسلسل بمقدار $\frac{1}{2}\lambda$ أى $(\frac{2n+1}{2})\lambda$. فى هذه الحالة تساعد الذبذبات أحدهما الاخر (شكل ٦٥ب) وتمر أكبر كمية من الضوء ، ولكن هذه الحالة لا تستمر بانتظام أثناء دوران المسرح.



إذا أخذنا الحالة التى يكون فيها اتجاه ذبذبة المعدن فى القطاع موازية لاتجاه ذبذبة المستقطب والمحلل ، نجد أن الضوء المستقطب الخارج من المستقطب يتذبذب موازيا لاتجاه واحد فقط من اتجاهى ذبذبة المعدن وعلى ذلك يمر فى المعدن دون اى تغير فى اتجاهه فيقابل المحلل موازيا لاتجاه المحور الطويل فلا يمر منه ونحصل على الظلام .

شكل ٦٥أ ـ تحلل موجتان تأخرهما ن λ

شكل ٦٥ب ـ تحلل موجتان تأخرهما (ن + ١/٢) λ

وأثناء تحريك المسرح دورة كاملة ينطبق اتجاهى ذبذبة المعدن أربع مرات مع اتجاهى ذبذبة النيكول . وبالتالى أن المعدن يظلم أربعة مرات فى الدورة الكاملة ويعطى وضع الإظلام . بين هذه الأوضاع الإظلام نحصل على أربعة أوضاع أخرى تعطى إضاءة تامة فى حالة كون فرق الوجه فى طول الموجة $(\frac{2ن+1}{2})\lambda$ أى عدد خارج عن التسلسل بمقدار نصف طول موجة .

اذا فرضنا أن س سمك قطاع المعدن، ع١ ، ع٢ سرعتى الشعاعين الذين يخترقاه ، وهاتان السرعتان تعتمدان على $\frac{1}{م_1}$ ، $\frac{1}{م_2}$ حيث م١ ، م٢ معاملا الانكسار للشعاعين .
واذا فرضنا أن الزمن الذى يأخذه الشعاعين لقطع المسافة س هو ز١ ، ز٢ يكون :—

$$ز_1 = \frac{س}{ع_1} = س م_1$$

$$ز_2 = \frac{س}{ع_2} = س م_2$$

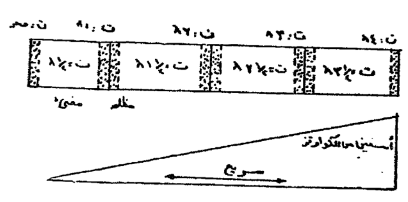
اذا $ز_2 - ز_1 = س(م_2 - م_1) =$ التأخر (ت)
أى أن التأخر النسبى (ت) للشعاعين يساوى السمك × فرق معاملا الانكسار .

ويسمى فرق معاملا الانكسار (م٢ — م١) بقوة الانكسار الثنائى ويرمز لها بالرمز (ق).
وقوة الانكسار الثنائى فى البلورة عبارة عن الفرق العددى بين معاملى الانكسار الاكبر والاصغر فى هذه البلوره .

واخيرا اذا افترضنا طول الموجة للضوء احادى اللون المستعمل يساوى λ وفرق الوجه له يساوى ف يكون : $ف = \frac{التأخر\ (ت)}{\lambda} = \frac{س \times (م_2 - م_1)}{\lambda}$

أو ت = س × ق

ومن هذه النتيجة يمكن ملاحظة انه اذا اخذ قطاع اسفيني لمدن (شكل ٦٦) حيث يتمثل فيه فرق ثابت في معامل الانكسار الشعاعين الذي يمران به حيث يتغير السمك من صفر الى سمك مناسب فيتغير وعلى ذلك فرق الوجه من صفر فأعلى . فاذا درس هذا الاسفين تحت النيكول المتعامد يلاحظ انه يعطي خطوط معتمة ومضيئة على التوالى تمثل فروق الوجه كالاتى ، صفر (معتم) ، $\frac{1}{2}$ ٨ (مضيء) ، ٨ (معتم) ، $1\frac{1}{2}$ ٨ (مضئ) الخ ......



شكل ٦٦ تأثير اسفين الكوارتز على الضوء أحادى اللون

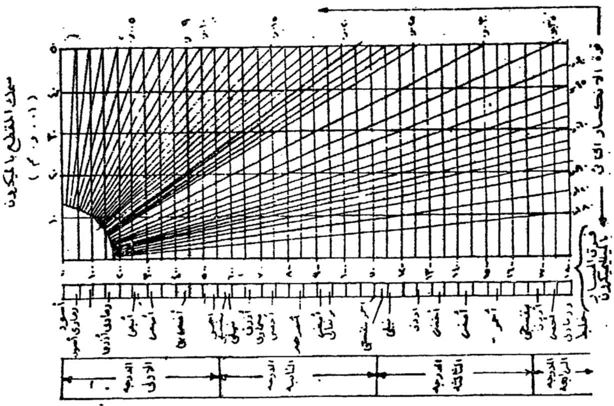
الوان التداخل

الى الآن كنا نستعمل في دراستنا للقطاع أو الاسفين الضوء أحادي اللون ، ولكن سنرى الان تأثير استعمال الضوء الابيض أى الذى يحتوى على عدة أشعة مختلفة في أطوال الموجة .

الشعاعان اللذان يمران من استقطب في الميكروسكوب لهما فرق وجه ثابت يعتمد على سمك القطاع . فاذا كان فرق الوجه ١ ، ٢ ، ٣ ، الخ .... طول موجة لأى لون من ألوان الضوء فان هذا اللون سيعتم . أما اذا كان الفرق $\frac{1}{2}$ ، $\frac{3}{2}$ ، $\frac{5}{2}$ الخ .... طول موجة لأى لون يصبح هذا اللون هو الاقوى . ويسمى هذا اللون الناتج بلون

التداخل (او لون الاستقطاب) للقطاع ولا يتغير هذا اللون عند تحريك دائرة الميكروسكوب ولكن فقط يتغير فى القوة . واذا استعملنا اسفين من المعدن بين النيكول المتعامد مع استعمال الضوء الابيض، فستعطى الالوان المكونة للضوء الابيض ظلام ولون أقوى فى الاوضاع المختلفة لكل ضوء خلال الاسفين ، وبتداخل الظلام والاضاءة للالوان المختلفة لتعطى سلسلة من الالوان تسمى بمقياس نيوتن لالوان التداخل .

وفى مقياس نيوتن تقسم الالوان الى درجات ، كما هو مبين فى شكل ٦٧ .



شكل ٦٧ ـ العلاقة بين الوان التداخل وقوة الانكسار الثنائى وسمك القطاع

ويلاحظ أن قيمة التأخر للدرجة الاولى يتراوح بين صفر ، ٥٦٠ ميليميكرون (م μ) ومضاعفاتها بالنسبة للدرجات الاخرى . مع مراعاة أن درجة وضوح الالوان تقل مع ازدياد الدرجة حتى يصبح اللون فى الدرجات العليا خليط من الالوان يسمى رمادى خليط أو غير نظيف . وتعتمد الوان التداخل على فرق الوجه الذى يعتمد على سمك الشريحة وقوة الانكسار الثنائى للمعدن ، أو كما ذكرنا سابقا .

$$ف = \frac{ت}{\lambda} = \frac{س \times ق}{\lambda}$$

وواضح من ذلك أن زيادة سمك الشريحة يعطى لونا اعلى فى مقياس نيوتن ، وبالمثل زيادة قوة الانكسار الثنائى، أى الفرق بين معاملى الانكسار المارين بالشريحة يزيد درجة اللون. وتتغير قوة الانكسار الثنائى فى شريحه معدن معين مع تغيير توجيهها البصرى .

ألوان التداخل الشاذة

إذا امتصت البلورة جزء من الضوء يصبح لها لون بدون استعمال المحلل وعلى ذلك فاللون الذى سيظهر عند استعمال النيكول المتعامد سيكون عبارة عن جمع لون التداخل مع اللون الناتج من الامتصاص . ، كما أن قوة الانكسار الثنائى للمعدن تتغير فى نفس المعدن بتغير اللون فى الطيف ولكن فى غالبية المعادن نظرا لان هذا التغير بسيط فلا يذكر تأثيره ولكن فى بعض المعادن يكون فرق التغير كبير فيتسبب فى ظهور ألوان تداخل غريبة ، فمثلا إذا كان لمعدن ما قوة انكسار ثنائى تساوى صفر للون معين وقيمة كبيرة للون آخر ، فان للون الاول سيختفى فى جميع ألوان التداخل الناتجة مهما كانت الشريحة سميكة ومعدن الميليليت من فصيلة التتراجونال يعتبر تقريبا ايزوتروبى للون الاصفر وعلى ذلك فألوان التداخل له عبارة عن أزرق غامق وتسمى فوق الازرق .

وقد تنشأ ألوان التداخل الشاذة فى المعادن ثنائية المحور عندما يكون وضع الاظلام للون غيره للألوان الاخرى . أو عندما تكون البلورة احادية المحور بالنسبة للون وثنائية بالنسبة للالوان الاخرى ، وهذه الظاهرة الاخيرة تدخل فى موضوع التفرق الذى سنبينه بالتفصيل فيما بعد .

الشرائح المساعدة

شرائح الجبس ، والميكا ، واسفين الكوارتز - ثلاث شرائح مساعدة تستعمل مع الميكرسكوب المستقطب وسنذكر عمل كل منها بالتفصيل ، كما توجد أدوات أخرى مساعدة مع الميكرسكوب كعوض بيريك ، وقاعدة فيدوروف العالمية وهى تستعمل لعمل قياسات خاصة .

شريحة الجبس

شريحة الجبس أو السيلينيت عبارة عن شريحة من هذا المعدن تقطع بحيث يكون سمكها يكفى لاعطاء لون التداخل الاحمر البنفسجى فى نهاية الدرجة الاولى تحت النيكول المتعامد ويسمى عادة باللون الحساس . فعندما توضع شريحة الجبس فوق المعدن فى الفتحة الخاصة به فى الميكرسكوب يتغير لون الجبس الى أزرق عندما يزداد فرق الوجه ويعطى لون أحمر عندما ينقص فرق الوجه وبذلك يمكن معرفة الزيادة أو النقصان فى فرق الوجه بسهولة .

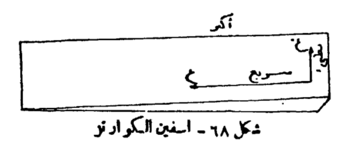
شريحة الميكا

وهى شريحة رقيقة من الميكا يقطع سمكها بحيث يعطى مع الضوء الاصفر تأخر قدره ربع طول موجة . وعندما توضع شريحة الميكا فوق قطاع المعدن فى وضع مع اتجاه ذبذبته (وضع ٤٥° مع محور الميكرسكوب) فهى تزيد أو تنقص فرق الوجه فى البلورة بمقدار ربع طول موجة . ويوضع عادة شريحتى الجبس والميكا فى إطار معدنى ويبين عليه اتجاه الذبذبة السريع أو البطىء موازيا لاتجاه الطول فى الشريحة .

اسفين الكوارتز

يعطى اسفين الكوارتز مقياس نيوتن لالوان التداخل ويمكن استعماله لمعرفة قوة الانكسار الثنائى فى المعدن ومعرفة العلامة البصرية كما سنبين فيما بعد .

ويقطع عادة اسفين الكوارتز بحيث يكون اتجاه طول الاسفين موازيا للاتجاه السريع فى بلوره الكوارتز اى موازى لاتجاه ذبذبة الاشعة العادية (شكل ٦٨) وتكون ذبذبة الشعاع البطىء أى الغير عادى عمودية على طول الاسفين .



شكل ٦٨ — اسفين الكوارتز

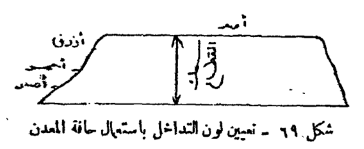
التعويض وتعيين لون التداخل

لاحظنا من قبل أن أحد الشعاعين المارين فى معدن يكون سريعــا والاخر المعمودى عليه بطىء . فاذا وضعنا شريحة من المعدن بين النيكول المتعامد وفوقها شريحة مساعده بحيث يكون الاتجاه السريع للشريحة المساعده منطبقا مع الاتجاه السريع للمعدن يكون التأثير وكأننا اضفنا سمك الى سمك الشريحة أو بمعنى اخر تزويد التأخـــر وعلى ذلك يرتفع لون التداخل. وبالعكس اذا كان الاتجاه السريع للشريحه المساعدة مع الاتجاه البطىء للمعدن فكأننا أنقصنا سمك الشريحة أو انقصنا التأخر أى أنزلنا لون التداخل، وفى هذه الحالة اذا كان سمك الشريحة مناسب فاننا نحصل على وضع يتعادل فيه النقص من الشريحة المساعدة مع الزيادة من المعدن ويصبح فرق الوجه صفر ونحصل على سواد او اظلام وهذ ما يسمى بالتعويض .

اسفين الكوارتز له سمك متغير ويستعمل فى عمـــل التعويض وذلك بأن توضع شريحة المعدن فى الوضع الاكثر وضوحا أى فى المنتصف بين وضعى اظلام ويوضع اسفين الكوارتز فى فتحة الميكروسكوب الخاصة بين النيكول المتعامد . أى بعمل ٤٥° مع اتجاهى المستقطب والحلل ، فيكون امامنا احدى حالتين . اذا انطبق الاتجاه السريع للاسفين مع الاتجاه السريع للمعدن لايحدث تعويض وترتفع الالوان فى الاسفين الى الدرجات الاعلى، واذا غيرنا وضع شريحة المعدن بادارتها ٩٠ درجة من الوضع الاول سينطبق الاتجـــاه السريع للاسفين مع الاتجاة البطىء للمعدن ولبعض السمك فى الاسفين يكون الزيادة فى الشريحة معادلة للنقص فى الاسفين أو العكس بحيث يظهر خط تعويض معتم فى مقياس نيوتن الذى يعطيه الاسفين ، وخط التعويض هذا يمثل لون التداخل فى المعدن وبذلك يمكن تعيينه .

<u>طريقة أخرى لتعيين لون التداخل</u> : وذلك بالاستفادة من التغير فى سمك المعدن على حافته وذلك باختيار حافة للمعدن بها تدرج فى السمك وتتبع الوان التداخل على حافة المعدن ومن تتابع هذه الالوان يمكن معرفة درجة لون التداخل فى أعلى سمك وهو سمك القطاع ، كما هو مبين فى شكل(٦٩) حيث يظهر أن لون التداخل هو الاصفر من الدرجة الثانية إذ يسبقه اللون الازرق

والاحمر والاصفر من الدرجة الاولى .



شكل ٦٩ ـ تعيين لون التداخل باستعمال حافة المعدن

علامة الطول

تكون المعادن عادة مستطيلة فى اتجاه عن الآخر . وتوجيه الشعاع السريع او البطىء مع الاتجاه الطويل يستعمل عادة كخاصية للتعرف على المعدن . ويمكن تعيين علامة الطول بواسطة اسفين الكوارتز أو أى شريحة مساعدة كالآتى :

بوضع قطاع المعدن بالاتجاه المستطيل فى وضع ٤٥° ويعين اذا كان الشعاع الذى يتذبذب موازيا له سريع أو بطىء .

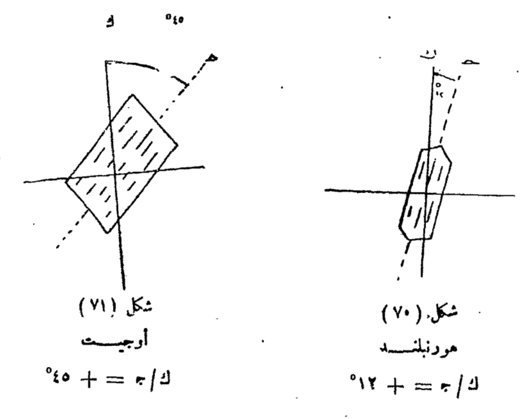
فاذا كان الشعاع البطىء يتذبذب موازيا للطول يسمى موجب والعكس صحيح ، أى اذا كان الشعاع السريع يتذبذب موازيا للطول يكون المعدن سالب الطول . ويجب عدم الخلط بين علامة الطول والعلامة البصرية .

وضع الاظلام وزاوية الاظلام

رأينا من قبل أن معظم القطاعات الغير ايزوتروبية تظلم أو تعطى اعتام بين النيكول المتعامد أربع مرات فى الدورة الكاملة للمسرح ويسمى كل منها بوضع الاظلام . وتحصل على وضع الاظلام عندما يكون مستويا الذبذبة فى المعدن موازيين لمستويا الذبذبة فى النيكول المتعامد . والتوجيه البصرى فى البلورة يعرفنا فى أى وضع سيكون اظلام بالنسبة للمحاور البلورية . وفى قطاعات اغلب المعادن يمكن ملاحظة اتجاه الانفصام أو حواف المعدن الذى يمكن معرفة توجيهه البلوره ويمكن ملاحظة وضع الاظلام بالنسبة لهذا الاتجاه البلورى .

زاوية الاظلام : هى الزاوية المحصورة بين مستوى ذبذبة واتجاه بلورى فى قطاع معين المعدن . ويمكن قياسها بوضع المعدن فى وضـــع الاظلام ثم قراءة تدريج المسرح . يدار المسرح حتى ينطبق اتجاه بلورى (اتجاه انفصام أو حافة المعدن) مع اتجاه الشعرة المتعامدة فى العينية والتى توازى مستويا ذبذبة النيكول المتعامد وعلى ذلك يكون هـــذا الاتجاه موازيا لأحد مستويا ذبذبة النيكول وتؤخذ قراءة المسرح . والفرق بين القراءتين هو زاوية الاظلام .

وتكون زاوية الاظلام موجبة اذا كانت حركة الزاوية من وضع الاظلام الى الوضع الذى يكون فيه الاتجاه البلورى مع الشعرة فى اتجاه عكس عقرب الساعة . وتكون سالبة إذا كانت الحركة مع عقرب الساعة كما هـــو مبين فى شكل (٧٠) لمعدن الهورنبلند ، وشكل (٧١) لمعدن الاوجيت ، فيقال أن زاوية الاظلام الهورنبلند ك/ج = + ١٢° وزاوية الاظلام للاوجيت ك/ج أيضا = + ٤٥°



شكل (٧١)
أوجيـــت
ك/ج = + ٤٥°

شكل (٧٠)
هورنبلنـــد
ك/ج = + ١٢°

ويوجد أوضاع مختلفة للاظلام . فمثلا ما يسمى بالاظلام المتوازى يكون وضع الاظلام فيه عندما يكون الاتجاه البلورى موازيا لاتجاه الشعرة فى العينيه أى زاوية الاظلام = صفر .

والاظلام المائل هو الذى يعمل الاتجاه البلورى فيه زاوية مع الشعرة فى وضع الاظلام ، أما فى الاظلام المتماثل كالشعرة المتعامدة تنصف الزاوية بين اتجاهى انفصام أو حافتين فى وضع الاظلام .

ويجب ملاحظة أن زوايا الاظلام يمكن قياسها بالنسبة لاتجاه الذبذبة السريع أو البطىء فى الشريحة مع الاتجاه البلورى (أو اتجاه الشعرة) وعلى ذلك فمن اللازم التعرف بواسطة الشرائح المساعدة على نوع اتجاه الذبذبة إذا كان سريع أو بطىء .

زوايا الأظلام لها اهمية كبيرة فى معرفة المعادن كما هو مبين فى شكل (٧٠ و ٧١) حيث تختلف الزوايا فى المعادن المختلفة فى القطاعات المتشابهة .

ونظرا للعلاقة الواضحة بين التوجيه البصرى ونوع زاوية الاظلام فيمكن اختصار أنواع زوايا الاظلام المميزة لكل فصيلة من البلورات كالآتى :

فصيلة الكيوب (المكعب) جميع القطاعات ايزوتروبية .

فصيلة التتراجونال والهكساجونال (الرباعى والسداسى) : القطاعات القاعدية عمودية على المحور البصرى . فهى ايزوتروبية ، أما القطاعات الرأسية فتعطى اظلام متوازى .

فصيلة الاورثورومبيك (المعين) : قطاعات البيناكويد تعطى اظلام متوازى .

فصيلة المونوكلينيك (احادى الميل) : قطاعات البيناكويد « أ » والبيناكويد القاعدى « جـ » تعطى اظلام متوازى .

أما قطاعات البيناكويد (المسطح) « ب » أى الموازية للمحور « أ » فى البلورة فتعطى اظلام مائل كما هو الحال فى الهورنبلند شكل (٧٠) .

فصيلة التريكلينيك (ثلاثى الميل) : جميع القطاعات تعطى اظلام مائل .

تعيين معاملات الانكسار فى المعادن الغير ايزوتروبية

قطاع المعدن الغير أيزوترون يحتوى على قيمتين لمعامل الانكسار متعامدتين ولذلك يجب تعيين كل منهم باختبار بيكا على حـــده وذلك بوضع إتجاه الذبذبة المراد تعيين معامل الانكسار بالنسبة له (وهو الوضع الذى يعطى اظلام تحت النيكول المتعامد) موازى لذبذبة النيكول السفلى ثم يجرى اختبار بيكا فنحصل على معامل الانكسار بالنسبة لهذا الاتجاه . ثم يدار قطاع المعدن ٩٠° فيصبح الاتجاه الثـــانى العمودى على الاتجاه الأول فى وضع موازى لذبذبة النيكول السفلى ثم يجرى اختبار بيكا فتحصل على قيمة معامل الانكسار فى هذا الاتجاه الثانى . ويلاحظ انه فى المعادن الاحادية المحور نحصل على ع ، غ من قطاع موازى للمحور البصرى . أما فى المعادن ثنائية المحور فللحصول على معاملات الانكسار ص ، م ، ك يجب القياس من قطاعين إحدهم يحتوى ص ، م مثلا والآخر يحتوى م ، ك ... الخ ..

الباب السادس

الضـــوء المستقطب المجمـــع

درسنا حتى الآن المعادن والبلورات تحت الضوء العادى والمستقطب المستوى وسندرس فى هذا الباب بالتفصيل تأثير الضوء المجمع . تتكون المجموعة المجمعة من المجمع وهو عدسة مجمعة توضع فى الميكرسكوب تحت الدائرة والنيكول المتعامد ويستعمل كذلك عدسة شيئية قوية. وفى الظروف الملائمة تظهر صورة تداخل ويمكن رؤيتها باحدى طرق ثلاث كالآتى :

١ - بوضع عدسة برتراند وتوجد تحت العدسة العينيه فى بعض الميكرسكوبات .

٢ - بوضع عدسة فوق العدسة العينية .

٣ - بازالة العينية .

وفائدة وضع العدسات السابقة هو احضار صورة التداخل لوضع الوضوح عند نقطة الوضوح للعينية ، ويعتمد نوع صـــور التداخل على الصفات البصرية للمعدن أى إذا كانت أحادية المحور أو ثنائية الخ . . . وعلى مكان القطاع فى البلورة ونوع الضوء المستعمل إذا كان أحادى اللون أو لا .

تكون صـور التداخل :

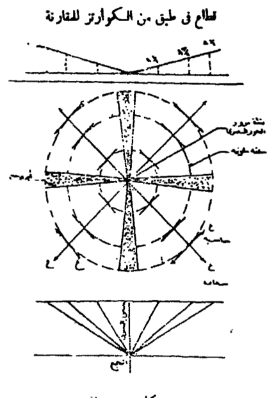
عندما يمر الضوء المجمع فى شريحة البلورة يحدث تغييرا فى التأخر بين النيكول المتعامد وهذا التغير فى التأخر يماثل التغير فى التأخر الذى يحصل من اسفين الكوارتز المذكور سابقا . فاستعمال شريحة كوارتز بدلا من الاسفين وضـــوء مستقطب مجمع بدلا من الضوء المستقطب المستوى يعطى ألوان تداخل معتمدة على تجمع الاشعة . فتغير ميل الاشعة يسبب تغير قيمة معاملات الانكسار م ١ ، م ٢ فى معدن ثنائى الانكسار (أحادى المحـــور أو ثنائى) . والقيم المتغيرة م ١ ، م ٢ تعطى بدورها قيم تأخر متغيرة .

وعند فحص شريحة كوارتز فأم تداخل يحدث عند فحص قطاع عمودى على المحـــور البصرى . والاعتبارات الاساسية التى اتخذت تشرح فى حالة اسفين الكوارتز هى نفسها فى حالة

شريحة الكوارتز (كما هو مبين فى شكل ٧٢) مع الفارق بأن السمك هنا يبقى ثابتا ويتغير بدلا منه فرق معاملات الانكسار (م ٢ - م ١) مع التأخر معتمدا على الاتجاه. وزاوية السقوط الناتجة من الشعاع المجمع المستعمل على شريحة الكوارتز تتغير من صفر فى وسط الحقل الى النهاية العظمى فى أطرافه .

نتيجة لذلك يتغير أيضا الفرق (م ٢ - م ١) من صفر فى الوسط حيث الشعاع الساقط موازى للمحور البصرى الى قيمة أعلى فى أطراف مجال الرؤية . ونحصل على اظلام أو اعتام فى منتصف مجال الرؤية حيث يكون اتجاهى ذبذبة الشريحة موازيا لاتجاهى ذبذبة النيكول المتعامد ونحصل على أيزوجير أسود على شكل صليب فى حالة المعادن أحادية المحور كالكوارتز. ويمكن شرح هذه الظاهرة إذا علم أن الضوء المجمع لا يسقط على سطح الشريحة فى خط واحد فقط كما هو الحال فى قطاع الكوارتز الاسفينى ولكن فى اتجاه اشعاعى دائرى حول المركز وكأنه عندنا اسفين من الكوارتز على شكل طبق دائرى شكل (٧٢) . وعلى ذلك فاتجاه

قطاع فى طبق من الكوارتز للمقارنة

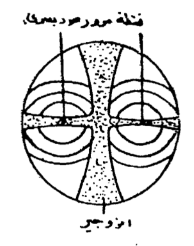


شكل (٧٢)
كيفية تكون صورة التداخل

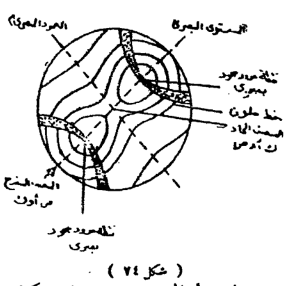
الذبذبة يترتب عاسا ومشما فى الدورة الكاملة . والنتيجة لذلك أن اتجاه ذبذبة الاشعة العادية (ع) والغير عادية (غ) من الشريحه يكون موازيا لاتجاه مستوى الذبذبة فى النيكول المتعامد فى اتجاهين، وهما اتجاهى اظلام، وعادة فى المعادن الاحادية المحور يكونان على شكل صليب متعامد مظلم شكل (٧٢). وتترتب الحلقات الملونة حول مركز الصليب المتعامد . أما فى المعادن ثنائية المحور فكان الاظلام يتغير تبعا لتغير مكان المحوران البصريان ولا تصبح صورة التداخل صليب عادى ولكن تتغير فى وضع التوازى مع النيكول عنه بعد حركة ٤٥ درجة كما فى شكلى (٧٣ و ٧٤).

ويعتمد عدد الخطوط أو المنحنيات الملونة فى أى صوره تداخلية على سمك الشريحة وقوة الانكسار الثنائى . الضوء أحادى اللون يعطى بالتبادل خطوط مظلمة ومضيئة فى صور التداخل حيث تمثل الخطوط المظلمة تأخر قدره ن λ ، وتمثل الخطوط المضيئة اضاءة تامة (والتى تتوسط الخطوط المظلمة) تأخر قدره (ن + $\frac{1}{2}$) λ وهذه العلاقة تماثل العلاقة التى ذكرناها سابقا مع اسفين الكوارتز باستعمال الضوء أحادى اللون .

أما الألوان التى نحصل عليها فى الصور التداخلية عند استعمال الضوء العادى فهى فى الحقيقة نتيجة لتجمع أطوال الموجات المختلفة للاشعة أحادية اللون لتغير زوايا السقوط المائلة ، وفى هذه الحالة يكون اللون الذى فرق الوجه له (ن λ) يمتص وتظهر الالوان الاخرى للطيف



شكل (٧٣)
صورة تداخل ثنائى المحور فى الوضع الموازى النيكول



(شكل ٧٤)
صورة تداخل ثنائى المحور فى وضع ٤٥° بالنسبة النيكول

وخصوصا اللون الذى يكون فرق اللوجه له (ن + $\frac{١}{٢}$) λ .

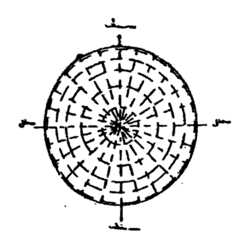
الاسكيودروم

الاسكيودروم شكل (٧٥) هام لشرح كيفية تكون الصليب المظلم أو الايزوجير :

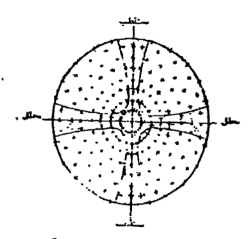
فالاسكيودروم عبارة عن مسافط مستقيمة المنحنيات ذات السرعة الواحدة كما تظهر على كرة باعتبار أن مصدر الضوء فى وسط الكرة . ومستوى المنقط عمودى على المحور البصرى كما هو مبين فى شكل (٧٥) .

وآثار اتجاهى الذبذبة المكونتين لأى شعاع من نقطة الاصدار على الاسكيودروم هما بالتوالى موازيان الخط الشعاعى والخط المماس للدائرة المار بنقطة الأصدار . وباستعمال هذه القاعدة كون شكل(٧٦)لأن الأشعة التى تتذبذب فى اتجاه موازى تقريبا لاتجاه ذبذبة النيكول العلوى والسفلى لاتمر وعلى ذلك نحصل على صليب مظلم .

اذا كان المحور البصرى موازى لمحور الميكروسكوب فيبقى الصليب المظلم فى مكانه أثناء دوران المسرح بالشريحه .



شكل (٧٥) اسكيودروم لبلورة أحادية
(شكل عمودى على المحور البصرى)



شكل (٧٦) الايزوجير مكون من الاسكيودروم
(اتجاه الذبذبة مبين بصلبان صغيرة)

وبالمثل فى حالة البلورات ثنائية المحور يمكن شرح تكون الايزوجير بسهولة باستعمال المساقط المستقيمة كما هو الحال فى الاسكيودروم ، وهذه المساقط يمكن الحصول عليها باسقاط النقط والخطوط من على كرة الى مستوى قطرى وكأننا ننظر للكرة من مسافة بعيدة لانهائية ، فمسقط النقط مثلا نحصل عليه باسقاط خط مستقيم من النقطة من على الكرة عمودى على المستوى القطرى للاسقاط ويكون مسقط النقطة عبارة عن نقطة تقاطع هذا الخط المستقيم مع المستوى القطرى .

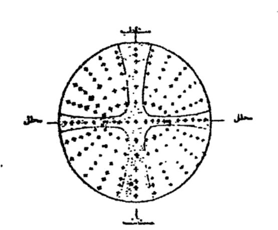
وصورة التداخل التى نراها باستعمال العدسات المجمعة ماهى الا مسقط مستقيم لظاهرة التداخل فى مستوى الرؤية الشيئية .

والضوء الجمع يحتوى على حزمة من أشعة الضوء وكل شعاع منها يعمل زاوية خاصة مع الاتجاهات البصرية لشريحة البلورة . وعموما عندما يدخل كل شعاع شريحة البلورة ينقسم الى مكونتين تتذبذبان فى إتجاه عمودى على بعضهما وكل شعاع فى البلورة له سرعة تعتمد على عدة عوامل ، ولكن يوجد بين جميع الأشعة المارة بشريحة البلورة بعض الاشعة لها نفس السرعة رغم مرورها فى إتجاهات مختلفة . فاذا رسمنا على كرة مجموعتان من الهليلج الكروى على أن يكون مركزهم هو نقطة مرور المحوران البصريان فان احدهما سيكون مركزه هو المنصف الحاد والآخر المنصف المنفرج وكل الخطوط التى تقام من مركز الكره الى نقطة على نفس الهليلج الدائرى توازى اتجاه انتشار الأشعة ذات السرعة الواحدة فى البلورة.

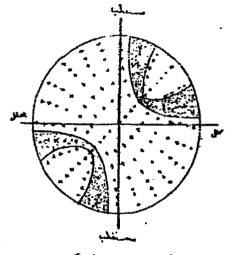
ويطلق على هذه الهليلجات الدائرية وهى منحنيات ذات سرعة متساوية لفظ ايزوتاكيات. ومن أهم القواعد لشرح تكون صور التداخل فى البلورات ثنائية المحور هى أن مستوى ذبذبة أى شعاع يكون دائما عمودى على الهليلج الخاص بها عند نقطة تقاطع الشعاع والهليلج. وخاصية هامة لمجموعتى الهليلج الدائرة انهما يتقاطعان فى إتجاه عمودى على بعضهما. وعلى ذلك فالمماس للشكلان الهليلجيان عند نقطة تقاطعهما يوازى مكان اتجاه الذبذبتين لمكونتى الشعاع المار من مركز الكرة الى نقطة التقاطع . ونظرا لأن ظاهرة صور

التداخل تحت الضوء المجمع هى مساقط فى مستوى الرؤية الشيئيه فمن السهل أن تمثل خطوط الايزوتاكيات فى مساقط مستقيمة ، وهذه المساقط المستقيمة للايزوتاكيسات هى التى تسمى بالاسكيودروم.

وبعد معرفة هذه الحقائق أصبح التمكن بطبيعة الايزوجير فى صور التداخل مسألة سهلة وذلك بالتأكد من أماكن الأشعة التى توازى ذبذبتها أو آثار ذبذبتها مستويا الذبذبة فى النيكول العلوى والسفلى . ونصل الى هذا بسهولة بواسطة استعمال الاسكيودروم كما هو مبين فى شكل (٧٧ و ٧٨) حيث يظهر فائدة الاسكيودروم فى التمكن بمكان الايزوجير وقد رسمت إتجاه ذبذبة الأشعة من اسكيودروم عمودى على المنصف الحاد فى بلورة ثنائية المحور .



شكل (٧٧) إتجاه الذبذبة من الاسكيودروم المنصف الحاد فى وضع التوازى



شكل (٧٨) إتجاه الذبذبة من الاسكيودروم المنصف الحاد فى وضع ٤٥°

أنواع صور تداخل أحادية المحور

تنقسم صور تداخل البلورات أحادية المحور من حيث توجيه القطاع إلى ثلاثه أنواع :-

أ) صورة تداخل محور بصرى أحادى المحور ، وهى التى ترى فى قطاع عمودى على المحور البصرى وذكرت قبلا فى شكلى (٧٢و٧٦) .

ب) صورة تداخل غير مركزية أحادية المحور وهى التى ترى فى قطاع مائل على المحور البصرى شكل (٧٩ و ٨٠) .

ج) صورة تداخل ريقية أحادية المحور وهى التى ترى من قطاع رأسى أى موازى للمحور البصرى ، شكل (٨٢ و ٨٣) .

وسندرس بالتفصيل الحالتين ب ، ج .

ب - صور تداخل غير مركزية أحادية المحور

جميع القطاعات فى المعادن أحادية المحور وليست عمودية أو موازية للمحور البصرى تعطى صورا تداخلية غير مركزية وعلى ذلك فهذه الصور هى الأكثر شيوعا فى القطاعات ولابد من فهمها جيدا .

فاذا كان المحور البصرى مائلا فى اتجاه المستوى شمال جنوب (ش ج) بحيث يكون قطبه قريبا من الطرف الشمالى من مجال الميكروسكوب شكل (٧٩) حيث نرى الأوضاع المختلفة لصور التداخل عند تحرك البلورة مع عقرب الساعة من صفر الى ٩٠ .

وشكل (٨٠) يمثل نفس التتابع للصور ولكن القطاع مائل كثيرا على المحور البصرى حتى أن نقطة المحور البصرى تظهر خارج مجال رؤية الميكروسكوب .

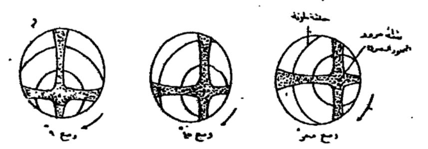
والايزوجير هو أهم جزء فى صورة التداخل لأنه دائما موجود فى الوقت الذى قد تختفى فيه الحلقات الملونة ، مثلا اذا كان القطاع رفيقا جدا أو قوة الانكسار الثنائى ضعيفة .

ولا تتغير صور تداخل المحور البصرى (العمودية على المحور) فى مكانها أو شكلها مع دوران دائرة الميكروسكوب فى الوقت الذى تتغير بسرعة الصور الريفية فى الشكل والمكان عند الدوران .

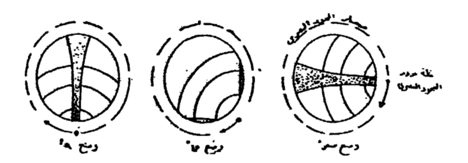
والايزوجير للقطاعات التى تميل قليلا على القاعدة تدور حول مركز مجال رؤية

الميكرسكوب كصليب أسود مع تغير بسيط فى الشكل.

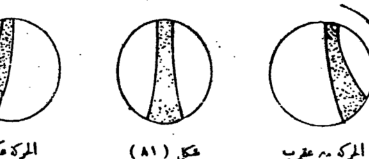
واذا زاد الميل على القاعدة (أى يقرب من المحور البصرى) يزيد أيضا تغير شكل الايزوجير



شكل (٧٩)
الاوضاع المتتالية لصور التداخل التير مركزية فى أحادية المحور من وضع الصفر الى ٩٠°
والميل طفيف على المحور البصرى ، نقطة مرور المحور البصرى داخل مجال الميكرسكوب
والحركة مع اتجاه عقرب الساعة .



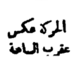
شكل (٨٠)
الاوضاع المتتالية لصور التداخل التير مركزية فى أحادية المحور من وضع صفر الى ٩٠°
والميل كبير على المحور البصرى . والحركة مع أتجاه عقرب الساعة

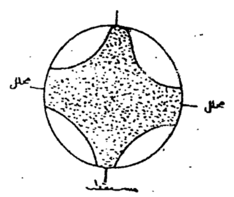


الحركة مع عقرب الساعة

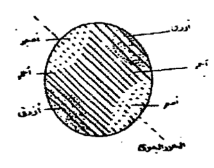
شكل (٨١)

الحركة عكس عقرب الساعة





شكل (٨٢)
صور بريقية فى الوضع الموازى



شكل (٨٣)
صور بريقية فى الوضع المنصف

أثناء الدوران تبعا لكمية الميل (شكل ٨٠) . وفى جميع الحالات التى يكون فيها المحور البصرى قريبا من طرف مجال الرؤية يكون تغير الايزوجير ضئيلا جدا حتى أنه يبقى تقريبا كخطين مستقيمين ولا يهم فى هذه الحالة ميل القطاع فهما دائما موازيين لمستويا النيكول عندما يمران بمركز الرؤية . ولكن أثناء الدوران فى احدى الاتجاهين بعيدا عن المركز ينحنيان بشرط أن يكون السطح المحدب ناحية خط هذا الوضع المستقيم (شكل ٨١) والانحناء دائما فى اتجاه عكس اتجاه دوران الميكرسكوب .

ويمكن معرفة المسافة التقريبية بين طرف مجال الرؤية للمحور البصرى من كمية انحناء وسرعة دوران الايزوجير إذ انهما يزدادان بازدياد المسافة .

جـ - صور تداخـــل بريقية
من قطاعات موازية للمحور البصرى

هذه القطاعات فى الوضع الموازى أى عندما يكون المحور البصرى موازيا النيكول العلوى أو السفلى تكون الصورة البريقية عبارة عن صليب أسود يصعب تحديدة شكل (٨٢) وينفصل الصليب الى جزئين (خطوط مخروطية) .

ويترك المجال بسرعة عند أقـــل حركة لدائرة الميكرسكوب . وهذه الخطوط المخروطية تترك أو تدخل مجال الرؤية فى المربعات المحتوية على المحور البصرى ومن ذلك يمكن الاستفادة

من هذه الصور فى تعيين العلامة البصرية والتوجيه البصرى .

وفى الوضع المنصف (وضع ٤٥°) يظهر تأثير ألوان التداخل التى تختلف باختلاف السمك وقوة الانكسار الثنائى . وفى القطاعات ذات الانكسار الثنائى الضعيف أو السمك القليل يتدرج اللون من المركز الى الخارج بألوان أنســل فى الدرجة فى المربعين المحتويين للمحور البصرى والعكس فى المربعين الآخرين وعلى ذلك فتوزيع الألوان فى هذه الحالة يبين مكان المحور البصرى شكل (٨٢) .

فوائد صور التداخل فى أحادية المحور

١ ـ تفرق بين أحادية المحور وغيرها من المعادن .

٢ ـ تستخدم لتعيين التوجيه البصرى فى قطاع المعدن .

٣ ـ يستعان بها فى تعيين قـــوة الانكسار الثنائى ، فهى تكون كبيرة اذا زادت وتقاربت الحلقات الملونة .

٤ ـ تعيين العلامة البصرية .

تعيين العلامة البصرية فى المعادن أحادية المحور

المعادن أحادية المحور كما عرفناها سابقا تكون موجبة إذا كان معامل الانكسار للشعاع الغير عادى فيها اكبر من معامل الانكسار العادى أى عندما تكون سرعة الشعاع الغير عادى أقل من سرعة الشعاع العادى والعكس فى المعادن السالبة .

ويمكن تعيين العلامة البصرية فى الضوء المستقطب المستوى من غير استعمال صور التداخل فى هذه الحالات الاتية فقط :-

١ ـ أن يكون المعدن معروف أنه أحادى المحور .

٢ ـ أن يكون من الممكن تعيين اتجاه المحور الرأسى (المحور البصرى) من شكل البلورة أى من البلورات التى يكون فيها اتجاه المحور ج معروفا .

ولكن دراسة صور التداخل فى الضوء المستقطب المجمع يعطى نتائج مفيدة فى تعيين العلامة البصرية .

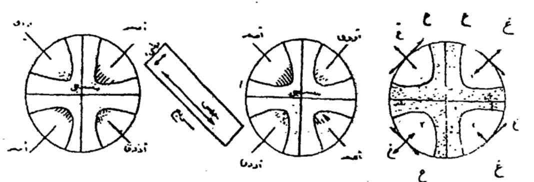
تعيين العلامة البصرية من صور محور بصرى

أحسن الصور التداخلية فى تعيين العلامة البصرية هى صورة المحور البصرى من القطاعات للبلورات أحادية المحور المقطوعة عمودية على المحور البصرى والتى تظهر ايزوتروبية تحت النيكول المتعامد أثناء دوران المسرح ويستعمل فى تعيين العلامة البصرية من المحور البصرى شريحة الجبس والميكا واسفين الكوارتز ، وتستعمل شريحة الجبس مع القطاعات ذات التأخر الضعيف (أى التى لاتعطى حلقات ملونة فى صورها التداخلية) . أما القطاعات ذات التأخر الكبير ، ذات السمك أو قوة الانكسار الثانى الكبير، وهى التى تعطى فى صورها التداخلية حلقات ملونة كثيرة ومتقاربة ويكون عادة أذرع الايزوجير بها رفيعة وواضحة ، فيستعمل معها شريحة الميكا أو اسفين الكوارتز .

ويمكن فهم كيفية تعيين العلامة البصرية من صورة المحور البصرى بسهولة اذا فهم كيفية حدوث الانكسار الثانى للاشعة المكونة لمخروط الضوء المار فى شريحة البلورة . فكل شعاع يمر من شريحة البلورة يحتوى على مكونتين أحدهما يتذبذب فى القطاع الرئيسى والاخر فى اتجاه عمودى عليه .

وفى شكل (٧٢) السابق ذكره وشكل (٨٤) تتذبذب المكونة الغير عادية للشعاع (غ) فى مستوى آثاره شعاعية الشكل ، أما المكونة العادية (ع) فتتذبذب فى مستوى آثاره مماسة للدائرة عند نقطة المرور .

ويلاحظ أنه فى وضع ٤٥° تكون آثار مستوى الذبذبة للاشعة الغير عادية فى المربعين ١ و ٣ موازية لاتجاه الذبذبة للاشعة العادية فى المربعين ٢ و ٤ .



أ — قبل وضع الجبس ب - بعد وضع الجبس فى بلورة موجبة جـ - بعد وضع الجبس فى بلورة سالبة

شكل (٨٤) تعيين العلامة البصرية من صورة محور بصرى فى بلورة احادية المحور باستعمال الجبس

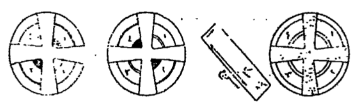
ونضع عادة الشريحة المساعدة فى الميكروسكوب بحيث يقسم اتجاه ذبذبتها السريع فى المربعين ٢ و ٤ وهذا يعنى أن الاتجاه السريع فى الشريحة يوازى اتجاه الذبذبة الغير عادى فى المربعين ٢ و ٤ وفى المربعين ١ و ٣ يكون الاتجاه السريع فى الشريحة يوازى اتجاه الذبذبة العادى .

وفى شكل (٨٤) ترى تأثير استخدام شريحة الجبس فى شكل صورة محور بصرى لبلوره أحادية المحور موجبة . فى المربعين ٢ و ٤ الشعاع الغير عادى يوازى الاتجاه السريع للجبس ولذلك ينقص لون الجبس الاحمر الى أصفر إذ أن الشعاع الغير عادى فى بلورة موجبة شعاع بطيء ، والعكس صحيح فى المربعين ١ و ٣ حيث أن الشعاع العادى (شعاع سريع) ينطبق مع الاتجاه السريع للجبس فيرتفع اللون الاحمر الى أزرق ، أما فى قطاع البلوره السالبة فيحدث عكس ماذكرناه فنحصل على لون أزرق فى المربعين ٢ و ٤ وأصفر فى المربعين ١ و ٣ .

شكل ٨٥ (ب) يبين تأثير شريحة الميكا على صورة محور بصرى فى بلورة أحادية المحور موجبة . فى المربعين ٢ و ٤ نحصل على بقع سوداء إذ أن الحلقات الملونة أزيحت للخارج لان تأثير الميكا هو أن تقلل بمقدار $\frac{1}{4}$ طول موجة فرق الوجه الناتج من البلورة .

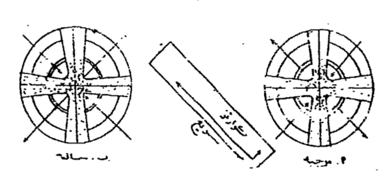
أما شكل ٨٥ جـ فهو يبين تأثير الميكا فى بلورة سالبة .

أما استعمال اسفين الكوارتز فهو كما يبين فى شكل (٨٦) حيث تظهر حركة الحلقات الملونة من بلورة موجبة وبلورة سالبة عند وضع اسفين الكوارتز فى صورة محور بصرى أحادى المحور .



أ ـ قبل وضع الميكا — ب ـ بعد وضع الميكا مع بلورة موجبة — جـ ـ بعد وضع الميكا مع بلورة سالبة

شكل (٨٥) تعيين العلامة البصرية من صورة محور بصرى أحادية المحور باستعمال شريحة الميكا

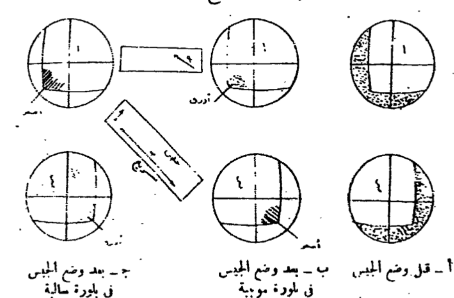


شكل (٨٦) حركة الحلقات الملونة باستعمال اسفين الكوارتز فى صورة محور بصرى أحادية المحور

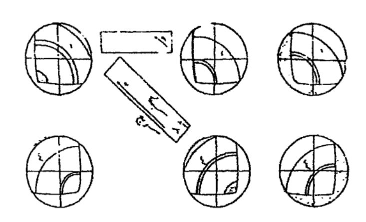
تعيين العلامة البصرية من صورة غير مركزية فى بلورة أحادية المحــــــور

صور المحور البصرى المركزية ليست كثيرة فى القطاعات كالصور الغير مركزية . ويمكن أيضا تعيين العلامة البصرية من هذه الصور التداخلية الغير مركزية . ويكون التعيين سهلا إذا وقع مكان ظهور المحور البصرى خارج مجال الرؤية . فيجب فى هذه الحالة معرفة مكانها من تتبع الحلقات الملونة وحركة أذرع الايزوجير عند دوران دائرة الميكرسكوب .

ويبين شكلى ٨٧ و ٨٨ بالتوالى التغير الذى يحدث عند وضع شريحة الجبس ، والميكا على صورة غير مركزية أحادية المحور فى أوضاع مختلفة .



شكل (٨٧) تعيين العلامة البصرية مع صورة غير مركزية فى بلورة أحادية المحور باستعمال الجبس .



أ ـ قبل استعمال الميكا ب ـ بعد استعمال الميكا في بلورة موجبة جـ ـ بعد استعمال الميكا في بلورة سالبة

شكل (٨٨) تأثير شريحة الميكا فى صورة غير مركزية احادية المحور .

تعيين العلامة البصرية من صورة بريقية

فى بلورة أحادية المحور

اذا كانت بلورة معروفة أنها أحادية المحور يمكن فى هذه الحالة تعيين العلامة البصرية من صورة بريقية انقطاع لها . عندما تتحرك دائرة الميكروسكوب ينفصل الصليب الاسود الغير واضح الذى يظهر فى الصورة البريقية الى ذراعين يتركان بجال الرؤية فى المربعين المحتويين على المحور البلورى جـ (أى اتجاه المحور البصرى) . وبمعرفة اتجاه المحور جـ يحرك القطاع الى وضع ٤٥° وترفع عدسة برتراند والجسم ثم يبين بواسطة الشرائح المساعدة اذا كان الشعاع المتذبذب موازيا للمحور جـ بطيء أو سريع بالنسبة للشعاع المتذبذب عمودى عليه وبذلك يمكن معرفة العلامة البصرية . فاذا كان هذا الاتجاه بطيء كان المعدن موجبا ، والعكس صحيح .

أنواع صور التداخل فى ثنائية المحور

تنقسم صور التداخل فى ثنائية المحور تبعا لتوجيه القطاع كالآتى :ـ

أ ـ الصور المنصفة وتنقسم الى نوعين .

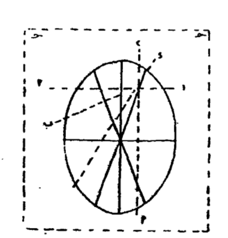
١ ـ المنصف الحاد .

٢ ـ المنصف المنفرج .

ب ـ صور محور بصرى .

جـ ـ صور بريقية أو العمود البصرى .

ـ صور غير مركزية ثنائية المحور .



شكل (٨٩) هليلج ثلاثى المحاور يبين اتجاه القطاعات التى تعطى صور التداخل المختلفة .

أ ـ الصور المنصفة :

١ ـ صور المنصف الحاد .

القطاع العمودى على المنصف الحاد فى البلورة ثنائية المحور كما هو مبين فى شكل ٨٩ يعطى فى الوضع الموازى أى اذا كان المستوى البصرى موازيا للنيكول، صليبا اسود فوق خطوط ملونة (شكل ٧٣ ، ٧٧) وعند تحريك دائرة الميكرسكوب ينقسم الصليب الى هلالين يحدد مكانهما تبعا لقيمة الزاوية البصرية ٢أ و موقع المستوى البصرى بالنسبة للنيكول المتعامد (شكل ٧٧ ، ٧٨) واذا كان القطاع رقيق جدا أو قوة الانكسار الثنائى ضعيفة قد لا تظهر الخطوط الملونة ويرى فقط الايزوجير .

الزاوية البصرية الحقيقية والظاهرة

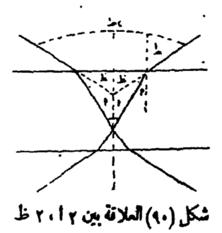
يرمز للزاوية المحصورة بين المحورين البصريين بالرمز ٢أ والزاوية أ هى الزاوية المحصورة بين احد المحورين البصريين والمنصف الحاد . وعموما الضوء المنطلق مع المحور البصرى ينكسر عندما

يترك البلورة وتظهر نقطتى مرور المحورين البصريين تحت الضوء المجمع فى مكان يختلف عنه لو انه لم يحدث انكسار عند خروج الاشعة من القطاع . وهذا الانكسار عند خروج الشعاع يتسبب فى زاوية اخرى ظاهرية (٢ ظ) ولها علاقة بالزاوية الحقيقيه (٢ا) كما هو مبين فى شكل (٩٠) الزاوية ٢ ظ هى زاوية فى الهواء ، أما ٢ ا فهى الزاوية الداخلية الحقيقية .

قياس الزاوية البصرية :

لقيــــاس الزاوية البصـــرية تقريبيا الميكروسكوب نستعمل معـــادلة مالارد

د = ك جا ظ



شكل (٩٠) العلاقة بين ٢ ا ، ٢ ظ

حيث ك = مقدار ثابت لكل ميكروسكوب وتتغير تبعا لقوة العدسات المستعملة وطول أنبوبة الميكروسكوب .

، د = $\frac{١}{٢}$ المسافة بين نقطتى مرور المحور البصرى وتقاس بالعينية المدرجة .

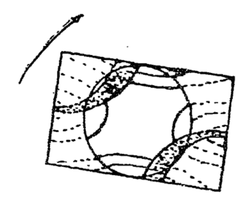
ظ = $\frac{١}{٢}$ الزاوية البصرية فى الهواء .

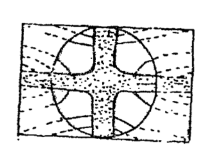
وتعتمد الزاوية ٢ ا ، ٢ظ على المعادلة الآتية :ـ

$\frac{\text{جا ظ}}{\text{جا ا}}$ = م حيث م = متوسط معامل الانكسار ، وعندما يكون م جا ا = ١ تصبح الزاوية ٢ ظ = ١٨٠° وفى هذه الحالة لا يمكن قياس الزاوية البصرية فى الهواء .

٢ ـ صورة المنصف المنفرج .

القطاع العمودى على المنصف المنفرج فى البلورة يعطى فى الوضع الموازى مع الضوء المجمع ايزوجير على شكل صليب اسود شكل (٩١) .



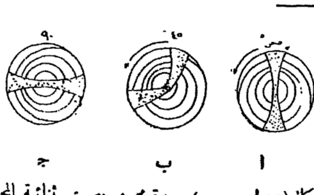


شكل (٩١) صورة تداخل منصف منفرج فى شكل (٩٢) صوره تداخل منصف منفرج الوضع الموازى .
تتحرك الى الوضع المنصف .

ولكن نظرا لوجود نقط مرور المحورين البصريين غالبا خارج مجال الرؤية فى الميكروسكوب فأية دوران طفيف فى المسرح يسبب اختفاء الصليب الاسود معطيا هلالين يتركان المجال بسرعة عند استمرار حركة الميكروسكوب شكل (٩٢)، أما المنحنيات الملونه فلها نفس الشكل العام كما فى حالة صورة المنصف الحاد ولكن فقط جزء منها هو الذى يرى فى مجال الرؤية .

ب ـ صور المحور البصرى الثنائية

القطاع العمودى على أحد المحورين البصريين فى بلوره ثنائية المحور يعطى صوره تداخلية كالمبين فى اشكال ٩٣ ا ، ب ، ج ، وهى عبارة عن ايزوجير مفرد بمنحنيات ملونه أو بدونها وهى تقريبا دائرية



أشكال (٩٣ ا ، ب ، ج) صورة محور بصرى ثنائية المحور أثناء الحركة .

اذا كانت الزاوية البصرية كبيرة ، واذا كان القطاع سميك والانكسار الثنائى قوى ولكن تكون الحلقات الملونه بيضاوية الشكل فى ظروف أخرى .

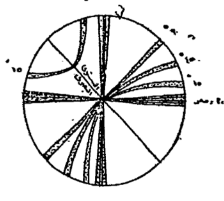
وتختلف صورة المحور البصرى فى البلورات ثنائية المحور عنه فى البلورات احادية المحور فى الآتى :

١ - لها ايزوجير واحد فقط بدلا من اثنين متعامدين فى حالة الاحادية .

٢ - شكل المنحنيات الملونه مختلفة .

٣ - الايزوجير المفرد لايبقى ثابتا ولا مستقيما عند تحرك المسرح ، ويمر الايزوجير بمركز صورة التداخل فى جميع الاوضاع ويدور فى اتجاه عكس اتجاه دوران المسرح وعندما ينطبق مستوى التماثل مع احدى اتجاهات النيكول . أما فى جميع الاوضاع الاخرى فيكون منحنى هلالى الشكل ، وفى الوضع المنصف (٤٥°) تكون نقطة مرور المحور البصرى هى اكثر نقطة محدبه فى الايزوجير الهلالى . وتكون الزاويه الحادة فى الناحية المحدبة للايزوجير ، ويمكن تقدير الزاويه البصريه تقريبا من صورة المحور البصرى بقيمه انحناء الايزوجير فى الوضع المنصف (شكل ٩٤) .

جـ صورة العمود البصرى :



شكل (٩٤)
مقدار انحناء الايزوجير مع تغير ٢ أ معامل الانكسار ١٫٦ والوضع المنصف .

القطاعات العمودية على العمود البصرى أى عمودية على المحور م فى الشكل المليلجى ثلاثى المحاور تعطى تحت الضوء المجمع ايزوجير عريض وغير واضح ومحدد وقد يكون معه منحنيات ملونه . وعندما يوازى المنصف ص أو ك مستوى الذبذبة للنيكول يظهر صليب غير واضح الحدود ينقسم الى هلالين بمجرد حركة المسرح حركة طفيفة ويترك المجال عند دوران المسرح ويلاحظ أن الهلالين اللذين يتركان المجال مؤخرا يكونان فى المربعين المحتويين على اتجاه المنصف الحاد .

ويشبه هذا الشكل الصورة البريقية السابق ذكرها فى احادية المحور الموازيه للمحور

البصرى . وتستعمل قليلا فى تعيين العلامة البصرية .

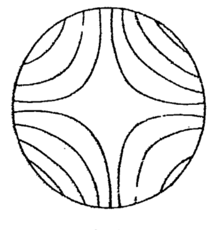
واذ كانت قوة الانكسار الثنائى مرتفعة أو القطاع سميك تظهر منحنيات ملونة شكل (٩٥) على شكل مجموعتين من الاشكال الهلالية وعلى مسافات متساوية من المركز يكون اللون أقل فى اتجاه المنصف الحاد عنه فى اتجاه المنصف المنفرج .

د ـ صورة غير مركزية ثنائية المحور :

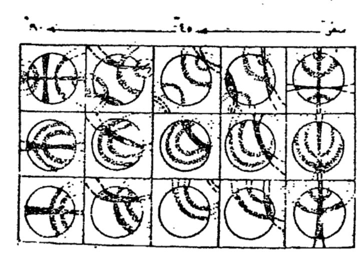
اذا قطعت شريحة مائلة على اى من الانجاهات السابقة تصبح صورة التداخل غير مركزية كما هو مبين فى الاشكال ٩٦،٩٧،٩٨

تعيين العلامه البصريه من صور ثنائى المحور

من أهم فوائد صور ثنائية المحور هو تعيين العلامة البصرية . وكما عرفنا سابقا تكون البلورة ثنائية المحور موجبة اذا كانت ك اتجاه ذبذبة الشعاع .



شكل (٩٥)
منحنيات ملونه فى صورة العمود البصرى فى الوضع المنصف .



شكل ٩٦ ـ قطاعات مائلة قليلا على العمود على المنصفان .

شكل ٩٧ ـ قطاعات قريبة من العمود على أحد المحاور البصرية (الزاوية البصرية الحادة فى اتجاه السطح الجدب للايزوجير

شكل ٩٨ ـ قطاعات مائلة جدا على العمود على المنصفان

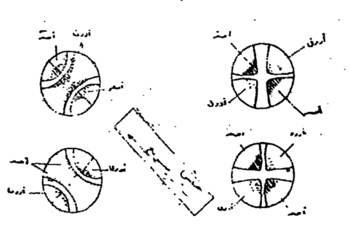
أشكال (٩٦ ، ٩٧ ، ٩٨) صور تداخل غير مركزة ثنائية المحور

البطئ هى المنصف الحاد . وتكون سالبة اذا كان ص اتجاه ذبذبة الشعاع السريع هو المنصف الحاد . وسنبين فى الصفحات التالية كيفية تعيين العلامة البصرية فى القطاعات المختلفة .

تعيين العلامة البصرية من صورة المنصف الحاد

تنقسم عملية تعيين العلامة البصرية فى صورة المنصف الحاد الى جزئين فمن المهم أولا التأكد من الصورة اذا كانت للمنصف الحاد أو المنفرج ، وثانيا معرفة ما اذا كانت ص أو ك عمودية على القطاع . فاذا كانت الصورة للمنصف الحاد تصبح العلامة البصرية موجبة اذا كان ك هو العمودى على القطاع وسالبة اذا كان ص هو العمودى .

واذا كانت الزاوية البصرية ليست كبيرة بحيث يكون المحوران البصريان أو أحدهما داخل مجال الرؤية ففى هذه الحالة تعين العلامة البصرية بنفس الطريقة التى استعملت فى حالة صورة المحور البصرى فى احادية المحور بتحريك دائرة الميكروسكوب للوضع الموازى واستعمال الشرائح المساعدة (شكل ٩٩ أ ، ١٠٠ أ) .

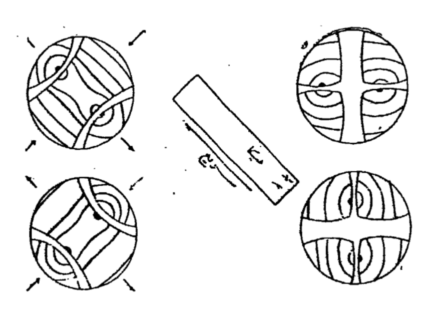


شكل (٩٩) تأثير استعمال شريحة الجبس فى صور منصف حاد موجب

أ - الوضـــع الموازى   ب - الوضـــع المنصف

اذا استعملت شريحة الجبس تظهر بقع صفراء بجوار كل من المحوران البصريان فى حدود أول منحنى ملون فى مربعين متقابلين كما هو مبين فى شكل (٩٩ أ) .

واذا استعملت شريحة الميكا فالنقط السوداء الناتجة من استعمال الميكا لاتظهر على الخط المنصف للمربعات ولكن فى مربعين متقابلين وبجوار المحور البصرى كما هو مبين فى شكل (١٠٠ أ) .



ا ـ الوضع الموازى ب ـ الوضع المنصف

شكل (١٠٠) ـ تأثير استعمال شريحة الميكا فى صور منصف حاد موجب

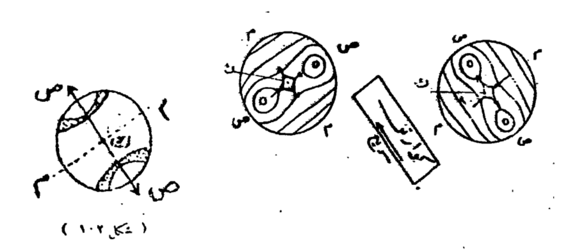
أما فى الوضع المنصف (أى حيث يعمل المستوى البصرى ٤٥° مع النيكول) فتعطى شريحة الجبس والميكا اشكالا كالمبينة فى الرسم (٩٩ ب ، ١٠٠ ب) .

وإذا استعمل اسفين الكوارتز فى الوضع المنصف فان كيفية تحرك المنحنيات الملونة تبين لنا العلامة البصرية كما هو مبين فى شكل (١٠١) .

ولتوضيح سبب هذه النتائج السابقة ، فمن المهم أن نتذكر الحقيقة الهامة وهى أن الضوء المار من البلورة فى حدود المحوران البصريان له جهتان (وجهان) الموجة كما ذكرنا سابقا . والضوء المار فى احدى الاتجاهات فى هذا المستوى (ماعدا اتجاه المحوران البصريان) يحتـــوى على شعاعين مختلفين فى السرعة احدهما يتذبذب عمودى على المستوى البصرى أى موازى للمحور والآخر يتذبذب فى المستوى البصرى عموديا على عمود الموجه فى الشعاع . وتعيين سرعة كل شعاع باتجاه الذبذبة وليس باتجاه الارسال للشعاع .

الضوء المار فى الاتجاه ك يحتوى على شعاعين أحدهما يتذبذب موازى م والآخر موازى الاتجاه البطىء ك .

والضوء المارر فى الاتجاه ك يحتوى على شعاعين أحدهما يتذبذب موازى م والآخر موازى للاتجاه السريع ص . وواضح من شكل (١٠٢) أن أى ضوء مارر فى أى أتجاه من احـــد المحورين البصرى والمحور ك يحتوى على شعاعين أحدهما يتذبذب موازيا للمحور م ويكون بطىء الآخر الموازى ص سريع وبالمثل أى ضوء مارر فى أى اتجاه بين أحد المحورين البصريين والمحور ص يحتوى على شعاعين أحدهما يتذبذب موازى م سريع والآخر يتذبذب موازى ك بطىء . وعلى ذلك فالشعاع الذى يتذبذب موازى م يكون الشعاع البطىء بالنسبة للضوء المارر فى ناحية الزاوية الحادة ويكون الشعاع السريع بالنسبة للضوء المارر فى ناحية الزاوية المنفرجة فاذا وضع



(شكل ١٠٢)

شكل ١٠١ تأثير ادخال اسفين الكوارتز على حركة المنحنيات الملونة فى صورة منصف حاد موجب فى الوضع المنصف .

أحد الشرائح المساعدة على هذه الصورة التداخلية بحيث يكون الاتجاه السريع فى الشريحة موازيا المستوى البصرى ، يقل تأخر الشعاع البطىء فى الناحية المقعرة (مع الزاوية المنفرجة)فى حين يزيد تأخر الشعاع السريع فى الناحية المحدبة (مع الزاوية الحادة) . ونتيجة لذلك يحـــدث انخفاض فى لون التداخل عند أى نقطة فى الناحية المحدبة .

واذا أردنا التخصيص فان استعمال شريحة الجبس فى الوضع المنصف المذكور فى شكل(٦٥) تعطى لون أزرق حول الايزوجير فى الناحية المحدبة اذا كان المعدن موجبا وتعطى لون أصفر

فى نفس الناحية اذا كان المعدن سالبا كما سبق وأوضحنا ذلك فى شكل (٩٩ ب علوى) وإذا اعتبرنا الوضع العكسى فنحصل على العكس كما هو مبين فى شكل (٩٩ ب سفلى) . أى فى حالة البلورة الموجبة الناحية الحدبة للايزوجير تتلون أصفر وفى السالبة تتلون أزرق . واذا استعملت شريحة الميكا على هذه الصور بحيث يكون فى الوضع المنصف المستوى البصرى مع الاتجاه السريع للميكا نحصل على بقعة سوداء عند نقطة ما فى الناحية المقعرة وذلك عندما نزل لون التداخل لوضع التعويض ، وذلك يعنى ان المعدن موجب كما هو مبين فى شكل (١٠٠ ب علوى) . وفى الوضع المنصف العكس نحصل على عكس هذه النتيجة أى ان البقعة السوداء تظهر فى الناحية الحدبة (شكل ١٠٠ ب سفلى) واذا استعمل اسفين الكوارتز فى الوضع الاول أى الاتجاه السريع موازى للمستوى البصرى ـ تتحرك المنحنيات الملونة ناحية المنصف المنفرج اذا كان المعدن موجب (شكل ١٠١ أ) والعكس صحيح اذ كان المعدن سالب .

تعيين العلامة البصرية من صور المنصف المنفرج

يجب أولا التفرقة بين هذه الصور وصور المنصف الحاد، كما يجب ملاحظة أنه عند تحريك الدائرة الى الوضع المنصف يصبح آثار المحوران البصريان فى المربعين الذى يترك فيهما الايزوجير مجال الرؤية ويكون م عمودى على المستوى البصرى ، واذا وجدت منحنيات ملونة تعين العلامة البصرية باستعمال اسفين الكوارتز . اما فى الحالات الاخرى فيعد تعيين مكان المحور م فى صورة التداخل نضع العينية (او نزيح عدسة برتراند) حتى تتمكن من رؤية المعدن ونضع شريحة الجبس أو الميكا بالاتجاه السريع موازى للاتجاه م للمعدن . فاذا نقص لون التداخل فى المعدن يكون ص هو اتجاه الذبذبة فى مستوى القطاع العمودى على م لأن الشعاع المتذبذب موازى م يكون بطىء بالنسبة للمتذبذب موازى ص . ولكن سريع بالنسبة المتذبذب موازى ك وعلى ذلك يكون ك هو المنصف المنفرج أى ص هو المنصف الحاد والعلامة البصرية للمعدن سالبة.

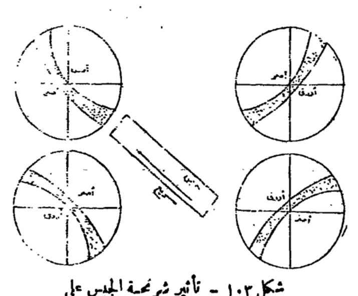
واذا ارتفع لون التداخل عند وضع الشريحة المساعدة بنفس الطريقة السابقة تكون العلامة البصرية للمعدن موجبة .

ويمكن استعمال هذه الطريقة فى حالة المنصف الحاد اذا كانت الزاوية البصرية الحاده اكبر من مجال الرؤية فى الميكروسكوب مع مراعاة أن النتيجة فى هذه الحـــالة عكسية لحالة المنصف المنفرج لنفس التطبيق السالف ذكره.

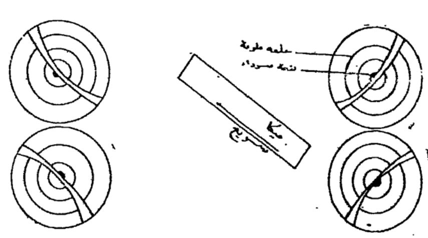
تعيين العلامة البصرية من صورة محور بصرى فى بلورة ثنائية المحور

فى كل قطاع عمودى على محور بصرى فى الوضع المنصف تكون الزاويه الحادة فى الناحية المحدبة للايزوجير حيث يكون الايزوجير فى أقصى وضع الانحناء. وبمعرفه ذلك يصبح تعيين العلامه البصريه فى صورة المحور البصرى مماثلة لحالة صورة المنصف الحاد مع فارق وجود ايزوجير واحد بدلا من اثنين والنتيجه مبينه فى شكلى (١٠٣ و ١٠٤).

واذا كانت صورة المحور البصرى غير مركزيه يصبح من الصعب معرفه اتجاه انحناء الايزوجير فى هذه الحالة لتعيين العلامة البصريه. وعندما تكون الزاويه البصرية مقاربه ٩٠° يستحيل تعيين اتجاه انحناء الايزوجير.



شكل ١٠٣ — تأثير شريحة الجبس على صور محـــور بصرى موجب



(شكل ١٠٤) تأثير شريحة الميكا على صور محور بصرى موجب

تعيين العلامة البصرية من صور العمود البصرى

فى هذه الحالة أيضا يكون المنصف الحاد فى المربعين الذين يتركا هلالى الايزوجير ويدخلا منهما مجال الرؤية . وعلى ذلك فاذا كان الشعاع المتذبذب مع اتجاه المنصف الحاد بطيئا كان المعدن موجب والعكس صحيح .

الفرق بين صور التداخل الاحادية والثنائية المحور

فى حالة الصور المركزية من السهل التفرقة بين صور المحور البصرى الاحادية والثنائية ، ولكن من الصعب التفرقة بين صور التداخل من القطاعات الرأسية فى أحادية المحور (بريقية) وصور العمود البصرى فى ثنائية المحور . ويستحسن عدم استعمال هذه الصور إذا كان المعدن غير معروف هل هو أحادى أو ثنائى المحور . ويمكن تفادى هذه الصور بتفادى قطاعات المعدن التى تعطى أعلى ألوان تداخل .

وغالبا فى القطاعات الرقيقة تكون القطاعات الغير مركزية كثيرة عن القطاعات المركزية . والقطاعات الغير مركزية الثنائية المحور والعمودية على المستوى البصرى أو المستوى ص م أو ص ك ، ليس من السهل تمييزها من قطاعات أحادية المحور ولكن عموما انحناء الايزوجير أكبر فى الحالة الأولى الا اذا كانت نقطة ظهور المحور البصرى بعيدة خارج مجال الرؤية . ولكن جميع الصور الغير مركزيه الأخرى تختلف بوضوح فى الثنائية عنها فى الاحاديه فى أن الايزوجير فى الصور الثنائيه يكون منحنيا ولا يوازى النيكول عندما يمر منتصف مجال الرؤيه ماعدا فى الحالة النادرة التى يكون فيها الزاويه البصريه ٩٠°.

« التفـــرق »

التفرق يعنى تشتت وانفصال الألوان المكونه للضوء الابيض فى اتجاهات مختلفه بالانكسار الغير متساوى على اى سطح . والمواد التى تسبب الانكسار تعطى انكسار غير متساوى للالوان المختلفة ولها معاملات انكسار تختلف تبعا لاختلاف اطوال موجات الضوء . وجميع المـــواد الصلبه والسائلة لها معاملات انكسار غير متساويه لألوان الطيف المتعـــددة ، وكلمه تفرق كما تستعمل بالنسبه للضوء تستعمل ايضا بالنسبه للمادة التى تسبب هذا التفرق ، ويقال أن هذه المواد لهـا تفـــرق .

وفى البلورات ثنائيه المحور توجد خواص أخرى غير معامل الانكسار تتغير بتغير لون الضوء مثل الزاويه البصريه وفى بعض الاحيان موضع الملبج ثلاثى المحـــور . وتسمى هذه التغييرات تفرق المحاور البصريه وتفرق المحاور الملبجيه .

وعلى ذلك فالتفرق بصورته العامه هو التغير فى قيمه أو مكان المعامــلات البصريه تبعا للالوان المختلفه فى الطيف

التفرق فى المواد الايزومترية :

المواد الايزومتريه لها نوع تفرق واحد فقط وهو تفرق معامل الانكسار . ويقاس التفرق فيها بالفرق بين معامل الانكسار للضوء البنفسجي والأحمر .

التفرق فى المواد احادية المحور :

البلورات أحاديه المحور لها تفرق معاملات الانكسار وهما عادة غير متساويين، وعلى ذلك فقوة الانكسار الثنائى تختلف مع الألوان المختلفة واذا اختلفت قوة الانكسار الثنائى مارة بالصفر فذلك يعنى ان العلامة البصريه تكون مختلفه أيضا لنفس المعدن مع طرفى الطيف .

التفرق فى بلورات فصيـلة (المعين) الاورثورومبيك

البلورات المعينة ثنائيه المحور لها تفرق الثلاث معاملات الانكسار واختلافهما يسبب تفرق

المحوران البصريان اذ أن العلاقة كما ذكرنا واضحة بين معاملات الانكسار والزاوية البصرية .

ونجد عموما أن تفرق معاملات الانكسار ضعيف وكذلك تفرق المحور البصرى . ولكن فى بعض المعادن كالجيوثيت تتغير الزاوية البصرية تغييرا كبيرا بتغير اللون .

وفى الحالات العادية قد يسبب تغير معاملات الانكسار فى تكون زاوية بصرية اكبر فى الضوء الأحمر عنه فى البنفسجى ويطلق على هـــذه الحالة الأحمر أكبر من البنفسجى (ح > ب) أو قد يحدث العكس ويقال الأحمر أصغر من البنفسجى (ح < ب) .

ويسمى تفرق المحوران البصريان فى هذه البلورات بالتفرق المعينى أو الأوروثوروميك . إذ أنه التفرق الوحيد الذى يؤثر على صورة التداخل فى بلورات فصيلة الأورثوروميك .

وفى هذه الفصيلة يحتوى المستوى البصرى دائما على محورين بلورين أ ، ب أو ب ، جـ أو أ ، جـ وتنطبق المحاور المليلجية مع المحاور البلورية .

وفى شكل (١٠٦) يحتـــوى المستوى البصرى على المحورين جـ ، ب والمحور جـ ينصف الزاوية البصرية ٢ أ . وفى هذه الحالة التفرق ح > ب .

وشكل (١٠٧) يمثل نفس الحالة ولكن فى صورة التداخل للمنصف الحاد حيث يظهر تفرق المحاور البصرية للون الأحمر والأزرق (أو البنفسجى) .

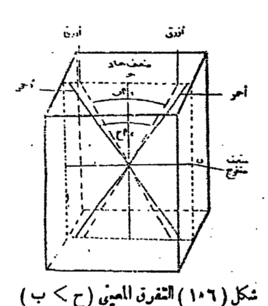
وإذا استعملنا الضوء الأبيض بدلا من الضوء أحادى اللون فسيأخذ الايزوجير مكانه بين الايزوجير للضوء البنفسجى والايزوجير للضوء الأحمر . ونراه عند المركز محاطا بهالة حمراء عند أحد أوجهه وبهاله زرقاء عند الوجه الآخر كما هو مبين فى شكل (١٠٨) .

وتتأثر أيضا المنحنيات الملونة الأولى والثانية فتزحزح على طول الخط الموصل بين المحورين البصريين .

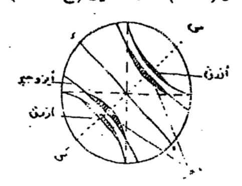
ويلاحظ فى شكل (١٠٨) أن الهالة الزرقاء تظهر فى مكان مرور المحور البصرى للون

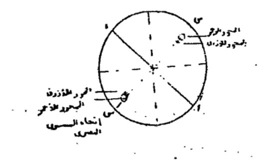
الاحمر وأن الحالة الحمراء تظهر مكان مرور المحور البصرى للون الأزرق ويمكن فهم هذه الظاهرة اذا فهم أن بالضوء الأبيض المحتوى على الطيف لا يحدث فرق وجهه للضوء الاحمر المار مع المحور البصرى للاحمر وعلى ذلك ينفصل اللون الاحمر من الطيف عنـــد نقط مرور محاوره البصرية ويظهر اللون المكمل من الطرف الآخر للطيف وهو الازرق . ونفس هذا التفسير يطبق مع الضوء الازرق .

وينطبق المستوى البصـــرى فى بلورات الأورثورومبيك مع أحد مستويات التماثل فى البلورة ويكون عموديا على الاثنين الاخرين. وعلى ذلك تجد أن صور التداخل متماثلة بالنسبة للمستوى البصرى وأيضا بالنسبة للمستويين المتعامدين .



شكل (١٠٦) التفرق المعينى (ح > ب)





شكل (١٠٨)
الايزوجير مع استعمال الضوء الابيض العادى

شكل (١٠٧)
نقط مرور المحاور البصرية للضوء الاحمر والازرق

أشكال (١٠٦ ، ١٠٧ ، ١٠٨) التفرق المعينى فى بلورات فصيلة الأورثورومبيك ، ح > ب

ويمكن ملاحظة التماثل بالنسبة للمستوى البصرى والمستوى العمودى عليه فى صور المنصف الحاد أما التماثل بالنسبة للمستوى الثالث فنرى فى صورة المنصف المنفرج وصورة العمود البصرى.

التفرق فى بلورات المونوكلينيك

كما سبق وذكرنا من قبل توجد ثلاث توجيهات بصرية أساسية فى بلورات المونوكلينيك. الحالة الاولى ينطبق اتجاه الذبذبة م مع محور التماثل البلورى ب، وينطبق المستوى البصرى مع مستوى التماثل (010) وفى الحالتين الاخيرتين تنطبق احدى اتجاهات التذبذب ص أو ك مع المحور البلورى ب ويكون المستوى البصرى عمودى على مستوى التماثل البلورى.

وفى هذه الظروف ينطبق المنصف الحاد أو المنفرج مع المحور البلورى ب. كل حالة من هذه الحالات الثلاثة قد تعطى نوع من التفرق مختلف سنفصلها فى الانواع الآتية:

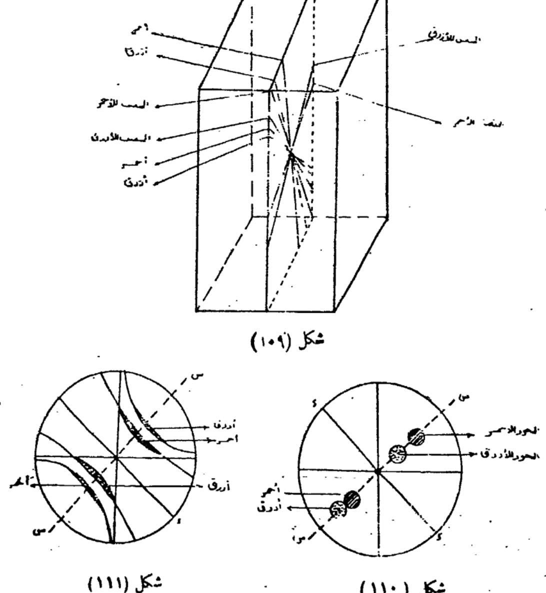
١ - التفـــرق المائـــل : يحدث هذا النوع من التفـــرق عندما ينطبق الاتجاه م مع المحور البلورى ب كما هو مبين فى شكل (١٠٩).

وفى هذه الحالة ليست الزاوية البصريه فقط هى التى تتغير مع الضوء المختلف الموجـــات ولكن المنصفات لهذه الزوايا قد تقع على خطوط مختلفة. وعلى ذلك يقال هنا انه يحدث تفرق للمحاور البصرية والمنصفات. شكل (١١٠) يمثل وضع المحاور البصرية لحالة فيها التفرق للاحمر اكبر من الازرق (أو البنفسجى) ح> ب وتظهر فيها الزاوية البصرية بين المحاور البصرية للاحمر اكبر منها للازرق. ولكن نظرا للتفرق فى المنصفات يحدث أنه فى ناحية منهما تكون نقطة مرور المحور البصرى للاحمر بعد مماثلة للازرق. وفى الناحية الاخرى ينعكس الوضع، وزيادة على ذلك فالمحوران البصريان للاحمر والازرق يكونان مبتعدين عن بعضهما فى ناحية من صورة التداخل عنه فى الناحية الاخرى شكل (١١٠) فنجد فى هذا النوع من التفرق أن صورة التداخل تكون متماثلة فقط بالنسبة للخط الذى يمثل أثر المستوى البصرى (س س) كما فى الشكل (١١٠) ولكنها غير متماثلة بالنسبة للخط العمودى عليه.

ويلاحظ أنه فى حالة التفرق المائل فى صورة التداخل تكون حروف الايزوجيير الملونه

معكوسة فى الوضعين أى إذا كان الازرق على الناحية المقعرة فى واحد يكون الاحمر على الناحية المقعرة فى الآخر .

كما أن كمية التفرق تكون أكبر فى الواحد عنه فى الآخر ، وشكل (١١١) يبين التفرق المائل مع استعمال الضوء الابيض فى صورة التداخل .

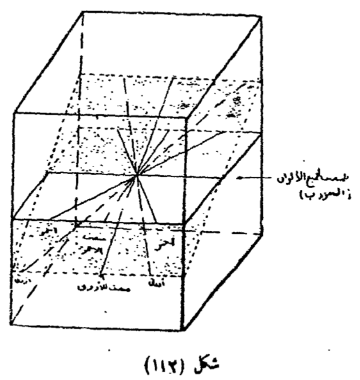


شكل (١٠٩)

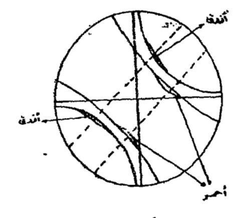
شكل (١١٠)
نقط مرور المحاور البصرية للضوء الاحمر والازرق

شكل (١١١)
الايزوجير مع استعمال الضوء الابيض

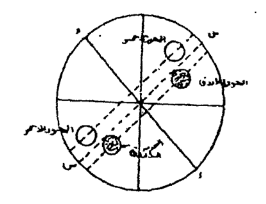
أشكال (١٠٩ ، ١١٠ ، ١١١) التفرق المائل فى بلورات فصيلة المونوكلينيك (ح > ب).



شكل (١١٢)



شكل (١١٤)
الايزوجير مع استعمال الضوء الابيض



شكل (١١٣)
نقط مرور المحاور البصرية للضوء
الاحمر والازرق

اشكال ١١٢ - ١١٣ - ١١٤ التفرق الافقى فى بلورات فصيلة احادى الميل (ح > ب)

٢ - التفرق الافقى . ينطبق المحور البلورى ب فى هذه الحالة مع المنصف المنفرج الذى يمكن أن يكون ص أو ك معتمدا على مكون البلورة موجبة او سالبة . وعلى ذلك يثبت وضع المنصف المنفرج لجميع انواع الضوء بكل موجاته .

وقد تتغير الزاوية البصرية وأيضا يتغير وضع المنصف الحاد طالما يقع فى مستوى التماثل البلورى ويمكن القول بطريقة أخرى أن مستويات المحاور يحدث لها تفرق كما فى شكل (١١٢) .

وعندما يكون ع > ب نجد نقط مرور المحور البصرى للازرق والاحمر كاهو مبين فى شكل (١١٣) ويلاحظ فى هذا الشكل أن صورة المنصف الحاد متماثلة بالنسبة للخط س س ولكن غير متماثلة بالنسبة للخط د د .

ويوضح شكل (١١٤) تأثير التفرق الافقى على الازوجير فى صورة التداخل عند استعمال الضوء الابيض العادى .

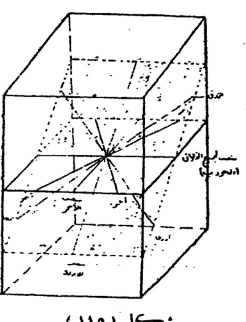
٣ - التفرق المتقاطع : المحور البلورى ب فى هذه الحالة ينطبق مع المنصف الحاد (ص أو ك) ويصبح اتجاه المنصف الحاد ثابت بالنسبة للضوء بجميع موجاته المختلفة .

وقد تتغير الزوايا البصرية ويتغير ايضا موقع المستويات المحورية مع طول الموجات المختلفة ما دامت باقية عمودية على مستوى التماثل البلورى . ويمثل هذه الحالة شكل (١١٥) وتكون نقط مرور المحاور البصرية للاحمر والازرق عندما يكون ح > ب كما فى شكل (١١٦) . ويلاحظ أن الصورة فى هذه الحالة تكون غير متماثلة بالنسبة للخطين س س ، د د ولكن متماثلة فقط بالنسبة لنقطة المركزية فى الصورة أى نقطة مرور المنصف الحاد .

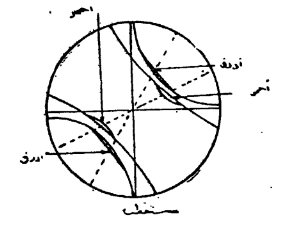
شكل (١١٧) يبين تأثير التفرق المتقاطع على الازوجير فى صورة التداخل عندما يكون ح > ب . ويمكن استنتاج هذه القاعدة وهى أن وجود تفرق متقاطع فى صورة منصف حاد يعنى أن الشخص ينظر فى اتجاه المحور البلورى ب لبلورة مونوكلينيك .

التفـــرق فى بـــلورات التريكلينيـــك

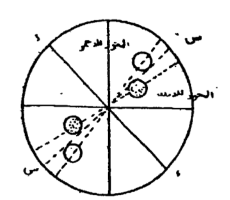
نظرا لعدم وجود اى اتفاق بين الاتجاهات البصرية والاتجاهات البلورية فى بلورات التريكلينيك نجد أن المحاور البصرية والمنصفات لاطوال الموجات المختلفة للضوء يمكن أن تتفرق فى اى اتجـــاه .



شكل (١١٥)



شكل (١١٧)
الايزوجير مع استعمال الضوء الابيض



شكل (١١٦)
نقط مرور المحاور البصرية للضـــوء
الاحمر والازرق

اشكال ١١٥ ـ ١١٦ ـ ١١٧ التفرق المتقاطع فى بلورات فصيلة المونوكلينيك (ع > ب)

وعلى ذلك فالتفرق فى صورة تداخل التريكلينيك غير منتظم وغير متماثل .

العلاقة بين التفرق والمعاملات البصرية فى البلورات المختلفة

فصيلة البلورة	معامل الانكسار	قوة الانكسار الثنائى	المحاور البصرية	المنصف الحاد	المنصف المنفرج	العمود البصرى
المكعب والغير متبلور	+	−	−	−	−	−
التراجوناك والهيكساجونال	+	+	−	−	−	−
الأورثورومبيك (متماثل)	+	+	+	−	−	−
المونوكلينيك ١ ـ العمود البصرى = ب (تفرق مائل)	+	+	+	+	+	−
٢ ـ المنصف الحاد = ب	+	+	+	−	+	+
٣ ـ المنصف المنفرج = ب	+	+	+	+	−	+
التريكلينيك (غير تماثل)	+	+	+	+	+	+

ب = المحور البلورى ب ، + = يوجد ، − = لا يوجد .

فوائد صور التداخل ثنائية المحور

تستعمل صور التداخل لمعرفة الخواص الاتية :

١ ـ تعيين قانون التلون والامتصاص .

٢ ـ فصيلة التبلور .

٣ ـ التوجيه البلورى للقطاع والمستوى البصرى (التوجيه البصرى للقطاع) ؛

٤ ـ تقدير قيمة الزاوية البصرية .
٥ ـ تقدير قوة الانكسار الثنائي .
٦ ـ العلامة البصـــرية .
٧ ـ التفـــرق .

طرق الدراسة البصرية لمعـــدن غير معروف

تحضير المعـــدن : يعتمد حجم وخواص قطع المعدن المراد دراسته او قطاعاته على ما ظروف وفى معظم الاحوال يكون مستحسنا أن يدق المعدن الى أجزاء صغيرة متشابهة وفى بعض الاحيان يكفى شريحـــة انفصام من المعـدن وفى بعض الظروف يستحسن ع قطاعات موجهة أو غير موجهة . وللدراسة المبدئية تؤخذ أجزاء غير منتظمة صغيرة م المعدن وتوضع على شريحة زجاج وتغطى فى كندا بلسم او سائل معروف معامل انكساره ثم تغطى بغطاء زجاجى رقيق.

تنظيم دراسة المعـــدن : سنعطى فى السطور التالية بعض النقط لتنظيم دراسة خواص المعدن

١ ـ الملاحظة تحت الضوء المستقطب المستوى بدون استعمال النيكول العلوى .

أ) يلاحظ لون المعدن اذا كان متجانسا أولا .

ب) بتحريك دائرة الميكروسكوب وعليها الشريحة ، يلاحظ التلون . فاذا وجد ، لا يمكن أن يكون ايزوتروبى وحاول أن تربط بين اتجاهات الامتصاص والاتجاهات البلورية

جـ) لاحظ حدود البلورة اذا وجدت وكذلك خطوط الانفصام والتشقق وخلافه .

د) لاحظ اذا وجد اى محتويات واوصف شكلها وترتيبها .

هـ) عين معامل الانكسار بالتقريب وعلاقته بالوسط الموجود فيه ولاحظ خواص البروز

٢ ـ الملاحظة تحت الضوء المستقطب المستوى باستعمال النيكول المتعامد .

أ) اذا كان المعدن معتما بين النيكول المتعامد وبقى كذلك أثناء دوران الدائرة فالمعد اما ايزوتروبى او موضوع على محور بصرى لمعدن احادى او ثنائى المحور (انظر بعده

ب) اذا حصلنا على اوضاع اظلام واضاءة أثناء الدوران يكون المعدن غير ايزوتروبى

ج) لاحظ اماكن وضع الاظلام واذا كان مائلا على احد الاتجاهات البلورية المعروفة ، قيس زاوية الميل وهى زاوية الاظلام .

د) عين العلاقة بين اتجاهى الذبذبة فى القطاع (اى فى اتجاهى الاظلام) ايهما السريع او البطىء وذلك بواسطة الشرائح المساعدة .

ه) ابحث عن القطاع او جزء المعدن الذى يعطى اعلى ألوان تداخل وبذلك يمكن بمعرفة سمك القطاع تعيين قوة الانكسار الثنائى .

و) بوضعها فى زيوت مختلفة فى معامل الانكسار يمكن معرفة قيمة بعض معاملات الانكسار

ز لاحظ التوائم إذا وجدت ونوعها (وتعرف من اختلاف التوجيه البصرى وبالتالى من وضع الاظلام فى جزئى التوأم فى البلوره)

٣ ـ الملاحظة تحت الضوء المستقطب .

أ) لاحظ اذا كان المعدن يعطى صورة تداخل . وهل هى أحادية المحور او ثنائية .

ب) اذا كان المعدن أحادى المحور عين موقع المحور البصرى بالنسبة لمستوى القطاع ، اى نوع القطاع وكذلك اذا أمكن العلامة البصرية .

ج) اذا كان المعدن ثنائى المحور عين وضع المستوى البصرى بالنسبة للقطاع . وكذلك العلامة البصرية اذا أمكن . والقيمة التقريبية للزاوية البصرية واية علامات للتفرق . ويستحسن أثناء هذه الدراسات عمل شكل توضيحى .

لاحظنا فى الدراسة السابقة ان لكل نظام شكل عام يميزه ، وعند وضع البلورة فى نظامها الخاص بها يجب ملاحظة أن وجود الشكل العام لايكفى احيانا ، وقد يظهر فى البلورة اشكال خاصة فقط ، والشكل الخاص ليس مميزا لنظام واحد بعينه مع انه احيانا المركب لاشكال خاصة قد يميز هذا النظام . فمثلا فصيلة الكيوب المادة التى توجد فقط فى اشكال مكعبة (cubes) محورة باوجه رومبيك دود يكاهيدرون قد تتبع اى نظام من الخمسة الانظمة فى هذه الفصيلة اذ ان هذه الاشكال الخاصة يمكن تواجدها فى كل انظمة الفصيلة ، ولكن البلورات التى بها مركب من بنتاجونال دود يكاهيدرون يجب ان توضع فى نظام ٣٢ على ان تكون بنتاجونال دود يكاهيدرون تتراهيدرى لم يلاحظ ابدا (انظر جدول الاشكال -) حتى لو وجدت اوجه الشكل العام فمن الصعب تمييزهم صحيحا فى الانظمة القليلة التماثل فمثلا كيف يمكن ان نميز ما إذا كان الانعدام الكلى للتماثل فى بلورة فصيلة تريكلينيك سببها وجود بيديونات فقط (مثل نظام ١) او لتحور نمو الاوجه وانطغاطها وهو الذى يحدث فى بعض البلورات الحقيقية مع اوجه البيناكويد (نظام ١̄) ولحل هذه الصعوبات اتفق دارسو البلورات على بعض العلامات المساعدة للتقرب من الحقيقة وسنذكر هنا منها اربعة باختصار .

١ـ صور التآكل :

اذا هوجمت بلورة بمادة تفاعل مناسبة وليست لها نشاط بصرى لمدة معينة (من ثوان قليلة الى ساعات) يظهر على اوجه البلورة مجموعة من الفجوات او النقر . وهذه النقر او العلامات متعددة الشكل تبعا للسرعات المختلفة للتآكل فى الاتجاهات المختلفة وتسمى صور التآكل و يمكن اعتبار تماثل صورة التآكل كعرض للنظام على الوجه المراد دراسته .

ونعطى مثالا لصور التآكل فى شكل (١١٨) حيث يبين فائدة هذه الصور فى تعيين تماثل النظام الذى تتبعه البلورة . فبلورة الكيوب (100) والرومب دود يكاهيدرون (110) او المركب منهما قد يتبعا اى نظام من الخمسة انظمة فى فصيلة الكيوب ، ولكن تماثل صور التآكل التى تظهر على

اوجه هذين الشكلين تختلف عن نظام الى اخر ، فمثلا اذا كانت صور التاكل على الاوجه (١٥٥) مربعة الاضلاع و لكنها مائلة على حدود وجه الكيوب نفسه ، يمكن القول ان المحور العمودى على سطح وجه الكيوب عكس التركيب المحورى على سطح وجه الكيوب نفسه عبارة عن محور رباعى (تتراد) و لا يمر خلاله مستوى تماثل أى ان هذا الكيوب يتبع نظام ٣٢ شكل (١١٨) .

توجيه النقر المتآكلة على اوجه البلورة المختلفة يمكن ايضا ان يساعد على معرفة التركيب الموجود تحت السطح ، فمثلا معدن كالسيت قد يتبلور فى مجموعة مركبة من بريزم هيكساجونال و بيناكويد قاعدى ، و لكن طبيعة التريجونال الحقيقية للمحور الرأسى يمكن معرفتها بعمل صور التآكل على الوجه بحامض مخفف (شكل (١١٩) و هو يبين صور التآكل موجهة باتجاهات مضادة على اوجه بريزم الكالسيت مما يثبت خاصية المحور الثلاثى الرأسى للتريجونال .

٢ــ الكهربائية الضغطية و الحرارية :

من المعروف من زمن بعيد ان تعريض بعض البلورات مثل الكوارتز و التورمالين و الهيميمورفيت (كالامين الكهربى) (Electric Calamine) لضغط ميكانيكى يسبب انفصال شحنات كهربائية على سطح البلورة ، هذه الخاصية الكهربائية الضغطية (Piezo = to press) لها فائدة عملية عظمى حاليا و اهميتها بالنسبة لعلم البلورات هو انها تجد فقط فى البلورات التى ليس بها مركز تماثل .

و اذا سخنت هذه البلورات او بردت ، يظهر ايضا شحنات كهربائية و تسمى هذه الخاصية الكهربائية الحرارية (Pyro = fire) ويمكن استعمال هاتين التجربتين لوضع البلورة فى نظام التبلور الصحيح .

وبعض الكهربائية الضغطية او الحرارية الخاصة تميز الانظمة الغير متماثلة المركز : (Non-Centro symmetrical) فمثلا معدن اكسينيت (Axinite) وهو حرارى الكهربائية لابد ان يوضع فى نظام

ا بالرغم من اوجه البيناكويد التى تظهر عادة : الاشكال المثالية الموسومة

لهذه البلورة ، وهنا لا يجب قلب الآية اذ ان بعض البلورات التى لا يوجد فيها تماثل للمركز بالنسبة للشكل العام قد لا تعطى تجربة الكهربائيـــة الضغطية • ويوجد ٢١ نظام ليس لها مركز تماثل وهى :ـ

تريكلينيك   نظام ١
مولوكلينيك   نظام ٢ ، م
اورثورومبيك   مم ٢ ، ٢٢٢
تريجونال   ٣ ، ٣م ، ٣٢
تتراجونال   ٤ ، ٤̄ ، ٤مم ، ٤̄٢م ، ٢٤
هيكساجونال   ٦ ، ٦̄ ، ٦مم ، ٦̄مم ، ٢٦
كيـــــوب   ٢٣ ، ٣٤̄م ، ٣٤

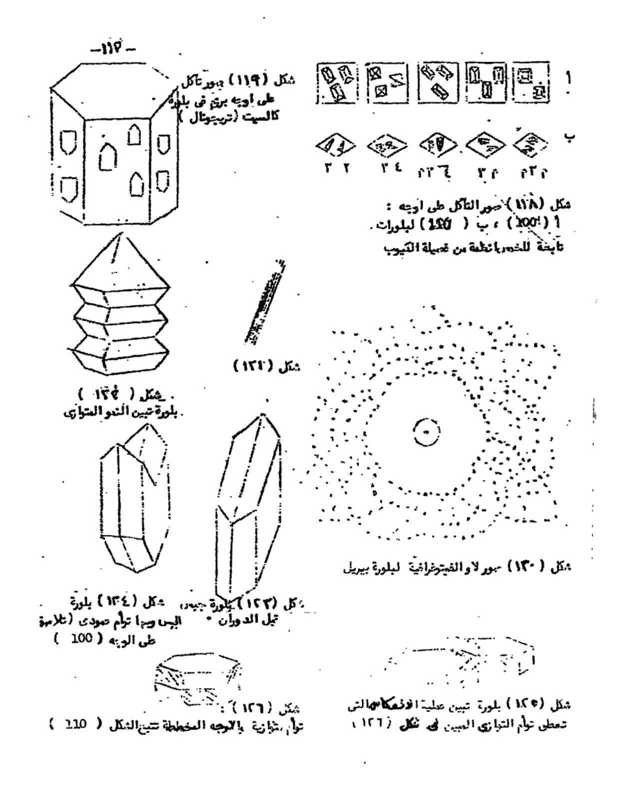
ولكن يمكن ان يبين ان فى نظام ٣٤ نظرا للتماثل القوى لا يمكن ملاحظة الكهرباء الضغطية بالرغم من عدم وجود مركز تماثل :

٢ـ النشاط البصرى (قوة الدوران البصرية : Optical Rotary Power)

كما ذكرنا فى دراسة المقدمة لعلم البصريات يمكن تقسيم البلورات تبعا لخواصها البلورية الى :

١ـ كيوب وهى ايزوتروبية •
٢ـ تتراجونال وتريجونال وهيكساجونال وهى احادية المحور •
٣ـ اورثورومبيك ومونوكلينيك وهى ثنائية المحور ، ويمكن تمييزها عن بعضها باختلاف انواع زوايا الاظلام فى القطاعات المعينة •

ولكن هذه الطريقة لا تعطى نوع نظام التماثل ولذا وجدت خاصية بصريـــة يمكن بها التعرف على الانظمة ذات التماثل الدنئ فى كل فصيلة • وهـــذه الخاصية تسمى بخاصية النشاط البصرى (او الاستقطاب الدورانى). ويمكـــن ملاحظتها بتمرير شعاع ضوئى مستقطب واحد فى بلورة بشرط ان يكون موازيا لاتجاه ايزوتروبى (فى اى اتجاه فى بلورات فصيلة الكيوب وفى اتجاه المحور البصرى ، محور التماثل الرئيسى فى بلورات احادية المحور ـ وفى اتجاه احد المحاور البصرية فى بلورات ثنائية المحور) •



شكل (١١٩) صور تآكل على اوجه برزم فى بلورة كالسيت (تريجونال)

شكل (١١٨) صور التآكل على اوجه :
أ (100) ، ب (110) لبلورات.
تابعة للفصول الناتجة من فصيلة المكعب

شكل (١٢١)

شكل (١٢٢)
بلورة تبين النمو المتوازى

شكل (١٣٠) صور لاو الفوتوغرافية لبلورة بيريل

شكل (١٢٣) بلورة جبس قبل الدوران .

شكل (١٢٤) بلورة الجبس وبها توأم عمودى (تلامسة على الوجه (100)

شكل (١٢٦) :
توأم متوازية والاوجه المخططة تبين الشكل (110)

شكل (١٢٥) بلورة تبين عملية الانعكاس التى تعطى توأم التوازى المبين فى شكل (١٢٦)

فاذا كانت البلورات لها نشاط بصرى نجد ان الشعاع الخارج بالرغم من انه يبقى مستقطب فى مستوى واحد كما نتوقع الا انه لايتذبذب فى نفس اتجاه الذبذبة الاصلية ولكن اتجاه الذبذبة ادير اثناء مرور الشعاع بالبلورة .

العينات المختلفة من نفس نوع المادة قد يدير الذبذبة فى اتجاهات مضادة . وفى كثير من المواد يمكن مقارنتها لاتجاه او اليد التى يحدث معها الدوران من شكل النمو التقابلى فى البلورة . فمثلا بلورة الكوارتز المبينة فى شكل (٢٩) نرى فيها أوجه ترابيزوهيدرون تريجونال ($51\bar{6}1$) تنمو فى الاحزمة المحصورة بين أوجه بأى بيراميد تريجونال ($11\bar{2}1$) وبرزم ($10\bar{1}0$) . فاذا عملنا قطاع قاعدى من هذه البلورة ومررنا فيه شعاع ضوئى مستقطب مستوى نرى ان مستوى الذبذبة فى الشعاع الخارجى اديرت فى اتجاه يد يمينى (مع عقرب الساعة) بالنسبة لشخص يلاحظه من ناحية المصدر . وخاصية التقابل الشكلى المبينة فى بلورة الكوارتز ناتجة من وجود ترابيزوهيدرون ($6\bar{1}\bar{5}1$) فى احزمة بين أوجه باى بيراميد ($2\bar{1}\bar{1}1$) والبرزم ($10\bar{1}0$) والقطاع القاعدى من هذه البلورة يعطى دوران يد يسرى (عكس عقرب الساعة) على اتجاه الذبذبة لشعاع مستقطب مستوى .

وعلى ذلك نضيف هذه الخاصية ولا مع هذه الانظمة التى يوجد بها تقابل شكلى هندسى حقيقى . ولهذا لايجب ان يكون فى النظام اية مستويات تماثل او اية عمليات انقلابية . وعلى ذلك يوجد احد عشر نظاما يعطوا تقابل شكلى وهم الموجودين فى الصف السادس فى جدول الاثنين والثلاثون نظاما المعطى سابقا ويمكن ترتيبهم فى الفصائل كالاتى :

تريكلينيك	نظام	١ تريجونال	انظمة ٣ ، ٢٣
مولوكلينيك	«	٢ تتراجونال	انظمة ٤ ، ٢٤
اورثورمبيك	نظام	٢٢٢ هيكساجونال	انظمة ٦ ، ٢٦
		كيوب	انظمة ٣٢ ، ٣٤

وكثير من المواد التى سبق ووضعناها فى هذه الانظمة كأمثلة تعطى نشاط بصرى وفى بعض الحالات تكون هذه الخاصية هى المميز الوحيد لوضعها فى هذه الانظمة اذ ان الشكل العام يندر وجوده او نموه فيها .

ويجب ملاحظة ان هذه القاعدة لايمكن عكسها اى ان المادة قد يكون لها تركيب يسبب وجودها فى احد انظمة التقابل الشكلى بدون ان يكون هذا التركيب من النوع الذى يسبب نشاط بصرى ، ولهذا فاذا كانت البلورة تعطى تقابل شكلى بالنسبة للشكل العام فهى توضع فى هذا النظام المعين بالنسبة للتقابل الشكلى مع انه قد لا تكون نشيطة بصريا فى حين ان عدم وجود النشاط البصرى فى معدن كوبريت مثلا ليس دليلا قاطعا على ان تماثله ليس هو للنظام ٣٤ اكثر من عدم اعطائها صور تآكل غير متماثلة

واخيرا يجب ملاحظة انه من الناحية النظرية يمكن لبلورة تابعة لاحدى اربعة من الانظمة الغير متقابلة فى الشكل وهى م ، مم ، ٤ ، ٤ ٢م — ان تعطى نشاط بصرى . ولكن لم يثبت للان وجود اى مثال واضح لهذة الحالة

٤— صور لاو الفوتوغرافية (*Laue photographs*)

وهى تبين المدى الذى يستفاد منه من اشعة اكس لبيان تماثل البلورة الداخلى . اذا مر شعاع من اشعة اكس — يغطى مجال من اطوال الموجات خلال قطاع فى بلورة يحدث انحراف كما بين ذلك م . فون لاو *M. Von Laue* فى سنة ١٩١٢ .

وعندما نستقبل اشعة الانحراف على لوح فوتوغرافى تظهر مجموعة من البقع السوداء (صور لاو الفوتوغرافية) كما هو مبين فى الشكل (١٢٠) لبلورة بريل حيث يلاحظ من ترتيب البقع ان اتجاه الارسال للشعاع الاول لاشعة اكس (فى منتصف الشكل) عبارة عن محور سداسى و يوجد ستة مستويات تماثل تمر به . وعلى ذلك فالمادة تتبع نظام ٦ مم او نظام ٦/ممم . والشئ الوحيد الذى لايمكن تفرقته فيها هو انها لاتميز بين النوع المتماثل للمركز و الغير متماثل للمركز . والاثنين و الثلاثين نظاما بهم احدى عشرة مجموعة يمكن تفرقتها فقط بصور لاو الفوتوغرافية وهى فى الفصائل الاتية :

تريكلينيك	١ و ١̄ لايمكن تمييزهم
مونوكلينيك	٢ ، م و ٢/م لايمكن تمييزهم
اورثورومبيك	٢م ، ٢٢٢ ، ممم لايمكن تمييزهم

تريجونال ٣ ، ٣ يظهروا تماثل تريجونال
٣م ، ٣م ، ٣٢ يظهروا تماثل داى تريجونال

تتراجونال ٤ ، ٤ ، ٤/ م يظهروا تماثل رباعى تتراجونال
٤مم ، ٤٢م ، ٤٢٢ ، ٤/ممم يظهروا تماثل داى تتراجونال

هيكساجونال ٦ ، ٦ ، ٦/م يظهروا تماثل هيكساجونال
٦مم ، ٦م٢ ، ٦٢٢ ، ٦/ممم يظهروا تماثل داى هيكساجونال

كيـــوب ٣٢ ، م ٣ يظهروا محور ثنائى رئيسى
٤٣م ، ٤٣٢ ، م ٣م يظهروا محور رباعى رئيسى

(تجمعـــات البلـــــــورات)

فى جميع الدراسات السابقة اعتبرنا فقط حالة بلورات بسطة ، ولكن اغلب البلورات فى الطبيعة قد يكون بها نوع معين من التجمع و توجد انـواع مختلفة من تجمعات البلورات واهمها •

١ـ تجمعات متعددة التبلور : ومنها تأخذ وحدة البلورات اى توجيهات شعواء بالنسبة لبعضها البعض •

٢ـ تجمعات خيطية : ومنها تأخذ وحدة البلورات محور بلورى واحد مشترك بينهما و هو الاتجاه الطويل مع اتجاه الخيوط شكل (١٢١)

٣ـ نمـو متوازن : وفيها تأخذ وحدة البلورات نفس التوجيه البلورى ، اى يكون فيها جميع الحواف والاوجه للوحدات المختلفة متوازية شكل (١٢٢) •

٤ـ البلورات التـوأم : فى بلورة التوأم كل وحدة منها لها توجيههـا الخاص بها ، ولكن التوجيهين فى الوحدتين لهما علاقة بسيطة بالاتجاهات البلورية لكل منهما •

قانـون التـوائم : هى عملية التماثل التى تحضر جزء من بلورة التوأم فى تلائم مع الجزء الاخر ، وهى اما عملية دوران او انعكاس •

محور التـوائم : هو الخط الذى لابد من دوران احد جزئى التوأم حوله ليستعيد وضعه الاول بدون توأم •

مستوى التوائم : هو المستوى الذى يقسم بلورة التوأم بحيث يكون احد نصفيها صورة انعكاسية للاخرى و هو عمودى على محور التوأم ٠

مستوى التركيب : (Composition plane) هو المستوى المعروف الذى يتلاصق فيه جزئى التوأم فى البلورة ٠ واهم انواع التوأم هى :

أ) توائم الدوران : (توأم التلاصق) وفيها جزء من التوائم يظهر وكأنه حرك عن الاخر بقدار ١٨٠° حول محور التوائم ٠ (المحاور الثنائية) الرباعية والسداسية لايمكن ان تكون محاور توأم اذ انها لا تعطى توجيه جديد اذا حرك التوأم ١٨٠°) ٠

وهى ثلاثة انواع :

١ـ توائم عمودية (normal twins) وفيها محور التوائم عمودى على وجه او وجه يمكن وجوده فى مستوى التوأم وهو فى نفس الوقت مستوى التركيب شكل (١٢٤)

٢ـ توائم متوازية : وفيها محور التوائم عبارة عن محور حزام (او ممكن حرف البلورة) يقع فى مستوى التركيب وهو دائما تقريبا موازى لوجه او أوجه يمكن وجودها و مستوى التركيب لايمكن ان يكون فى هذه الحالة مستوى مرآة للتوائم شكل (١٢٦) ٠

٣ـ توائم مركبة (Complex twins) وبها محور التوائم عبارة عن خط فى مستوى التركيب عمودى على حافة ممكنة للبلورة ، وهو نادر الوجود

ب) توائم التماثل (Symmetric twins) وفيها جزء من التوأئم لابد ان ينعكس فى مستوى التركيب ليكون مماثلا للجزء الاخر و الجزئين لا يمكن ان يكون بينهما علاقة دورانية شكل (١٢٧ و ١٢٨)

جـ) توائم التكرار : وهى تحدث عندما يتكرر اكثر من وحدتين معا ، واذا كانت كل مستويات التركيب المتتالية متوازية تسمى البلورة الناتجة بلورة توائم متكررة او ايضا توائم صفائحية شكل (١٢٩) فى بلورة البيت (بلاجيوكلاز) .

٠٠٠٠٠٠

تماثل البناء البلورى الداخلى (البنية البلورية)

الترتيب الفراغى (Space Lattice)

يتكون الترتيب الفراغى البلورى من مجموعة من النقط يتشابه عندها الترتيب الذرى فى اتجاه معين ، وينقسم الفراغ البلورى بواسطة الترتيب الفراغى الى عدد من وحدات فراغية متشابهة ذات اوجه متوازية يحتوى كل منها على النموذج الذرى ، والوحدة الفراغية هى اساس بناء الترتيب الفراغى اذ بتكرارها يتكون الترتيب البلورى الفراغى .

واما التركيب البلورى فيتكون من نموذج فراغى (ذرة او مجموعة من ذرات او ايونات او جزئ) يتكرر وفقا للترتيب الفراغى .

تركيب البلورة الداخلى

والاربعة عشرة ترتيب فراغى لبرافى (Bravais)

تسمى اصغر وحدة فراغية يتكون على اساسها الترتيب الفراغى بالخلية الوحدة (Unit cell) كما هو مبين فى الشكل (١٢٠) .

وتحدد الخلية الوحدة عادة باطوال أحرفها (أ ، ب ، جـ) التى هى فى الواقع وحدات التكرار الفراغى لبناء الترتيب البلورى ، وكذلك الزوايا (α ، β ، γ) بين هذه الاحرف . ويطلق على أ ، ب ، جـ لفظ الوحدات الاولية التكرارية (Primitive Units) .

ولكل خلية ثمانية اركان ، وتقع كل من هذه الاركان عند نقطة تقابل ثمانية خلايا متماثلة ، اى ان كل نقطة ركنية تساهم بما يساوى ١ / ٨ للنموذج الذرى المرتبط بها فى كل من الخلايا المتقابلة عند هذا الركن . فالخلية الوحدة تحتوى بذلك ٨ × ١ / ٨ النموذج الذرى . والخلية المحددة بهذه الطريقة خلية اولية ويرمز لها بالرمز P ، وتعين الفصيلة البلورية لاى معدن أو مركب من عناصر الخلية الوحدة لبلورة هذا المعدن أو المركب . وبالاضافة الى أن لكل فصيلة من الفصائل البلورية السبعة عنصر تماثل تتميز به عن الفصائل الاخرى

الا.اته من الممكن ان يكون للخلية الوحدة نقط ترتيب اكثر من التى تحدد اركانها بدون احداث اى تغيير فى وحدات تكرار الترتيب الفراغى او فى التماثل الداخلى للخلية الوحدة ، وتكون الخلية فى هذه الحالة خلية مركبة تحتوى على اكثر من نموذج ذرى واحد ، ويمكن تقسيم الخلايا المركبة كالاتى :

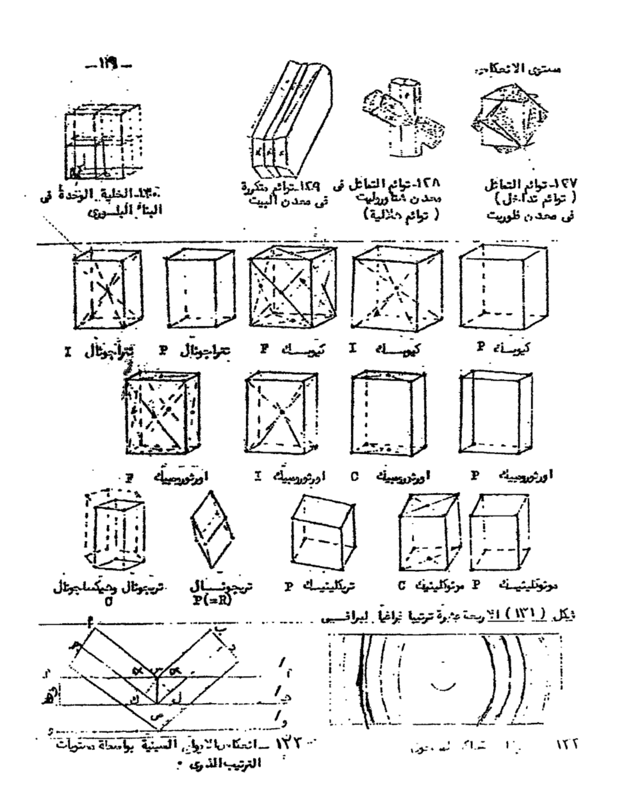
أ) خلية لها نقطة ترتيب فراغى عند المركز بالاضافة الى نقط الترتيب الركنية وتسمى خلية مركزة (Body centered cell) ويرمز لها بالرمز (I) وفى هذه الحالة تحتوى الخلية على نموذجين ذريين (٨× ١/٨ + ١) .

ب) خلية مركزة الوجه (Face centered) ولها نقطة ترتيب عند مركز كل وجه من اوجه الخلية بالاضافة الى نقط الترتيب الركنية ويرمز لها (F) وتحتوى مثل هذه الخلية على (٨ × ١/٨ + ٦ × ١/٢) نموذج ذرى .

جـ) قد تكون النقط الفراغية عند مراكز اوجه الخلية قاصرة على وجهين متقابلين فيها و فى هذه الحالة تحتوى عددا من النماذج الذرية تساوى = (٨ × ١/٨ + ٢ × ١/٢) نموذج ذرى .
ويرمز للخليـة فى هذه الحالة بالرمز C .

ولقد وجد برافى ان هناك اربعة عشر ترتيبا فراغيا يمكن ان تحدد الفصيلة التى تنتمى اليها الخلية الوحدة ووحدات النماذج الذرية التى تحتوى عليها الخلية كما هو مبين فى شكل (١٢١) وفى الجدول التالى الفصائل البلورية السبعة و عناصر التماثل المميزة لكل فصيلة و ترتيبات برافى الفراغية فيها .

الفصيـــلة	عناصر التماثل المميزة	ترتيبات برافى
كيـــوب	اربعة محاور تماثل ثلاثيـــة	F, I, P
تتراجـــونال	محـــور تماثل رباعـــى	I, P
هيكساجـــونال	محور تماثل ســـداسى	C
تريجـــونال	محـــور تماثل ثـــلاثى	P (= R)
اورثورومبيك	ثلاث محاور تماثل ثنائية متعامدة	F, I, C, P
مونوكلينيك	محـــور تمـــاثل ثنـــائى	C, P
تريكلينيك		



١٢٧- توائم التداخل (توائم تداخل) فى معدن فلوريت

١٢٨- توائم التداخل فى معدن ستاوروليت (توائم متلاقية)

١٢٩- توائم متكررة فى معدن ألبيت

١٣٠- الخلية الوحدة فى البناء البلورى

شكل (١٣١) الاربعة عشرة ترتيبا فراغيا لبرافيس

١٣٢- انعكاس الاشعة السينية بواسطة مستويات الترتيب الذرى.

اشعة اكس وبنيــــة البـلورات

مقــــــدمة :

المسافات بين الذرات في البلورات تقع في حدود مقدارها 10^{-8} سم ($= 1\mathring{A}$) • واذا اعتبرنا البلورة كذرات متجمعة متماسكة يمكن الوصول الى هذا التقدير باعتبار حجم جرام ذرة (gram-atom — سنتيمترات مكعبة متعددة) يحتوى 6×10^{24} ذرة (عدد افوجادرو) .

واشعة اكس — وهى موجات كهرومغناطيسية — لها لحسن الحظ اطوال موجات قصيرة جدا بالنسبة لهذه المسافات الصغيرة بين الذرات ولذلك اعتبرت وسيلة مفيدة لقياس المسافات بين الذرات •

اشعة اكس أو الاشعة السينية (X rays)

اشعة اكس لها موجة طولها يتراوح بين 0.1×10^{-10} الى 45×10^{-8} سم ولها تردد عالى جدا •وتنتج اشعة اكس عندما تصطدم الكترونات وهى تسير بسرعة مع ذرات فتتشتت الالكترونات ذات القوة الكهربائية العلية فى الذرات• وقوة كهربائية تنطلق فى صورة اشعة اكس عندما تتحول الالكترونات من مستوى القوة المرتفع الى مستوى قوة منخفض •

فى انابيب اشعة اكس تنطلق الالكترونات من سلك رفيع مسخن كهربائيـا (hot cathode) عند ضغط منخفض و تنشط سرعتها بجهد مرتفع فى حدود الاف من القولت بين السلك الرفيع و القطب الموجب (أنود) وهو مبرد بالماء وعمليا يوصل الأنود بالجهد الارضى •فى حين يوصل السلك مع فولت سالب مرتفع •

وتعتمد طول اشعة اكس الناتجة على نوع مادة القطب الموجب و الفولت المنشط للسرعـة •

وعلى ذلك فاشعة اكس تنحرف فى البلورات و يمكن استنتاج بنية البلورة من دراسة الخطوط او النقط التى تظهر فى صور الأشعة السينية الفوتوغرافية) وهذه النقط او الخطوط التى تنشأ من انحراف او انعكاس الاشعة السينية

الساقطة على المستويات الداخلية للذرات فى البلورة تعتمد على كون المادة المقامة فى صورة مسحوق او بلورة واحدة كما هو مبين فى شكل (١٢٢) و فى صور لاوالفوتوغرافية السابق ذكرها فى شكل (١٢٠) ٠

انحراف وحيود الاشعة السينية فى البلورات :

انحراف الاشعة بواسطة ترتيب ذرى فى ثلاثة اتجاهات يتبع قانون مبسط يسمى قانون براج او براغ (Bragg) اذا تشتت مجموعة من الموجات مقدمتها عمودية على اتجاه الانتشار على صف من النقط ، فان الاشعة المتشتتة تتداخل مع بعضها اذا كان فرق المسار للاشعة المتشتتة من نقط مختلفة صفر ، او اى عدد صحيح من اطوال الموجة ٠

واذا حصلنا على شعاع منحرف من سقوطه على نقطة مرتبة فى ثلاثة اتجاهات فان الموجات المنحرفة من جميع النقط يجب ان يكون لها نفس الوجه (Phase)

وفى شكل (١٢٣) م ، هـ ، و مستويات متتالية لنقط فى قطاع المستوى م اذا كان بمفرده يعكس الشعاع الاولى أ س معطيا س ب ، وزاوية الانعكاس ب س مَ تساوى أ س م = α وذلك يحدث مهما كانت قيمة الزاوية α ولا يعتمد على المسافات و ترتيب النقط فى البنيان و بالمثل اذا كان المستوى هـ بمفرده فانه يعكس ايضا الشعاع بنفس الزاوية ، ولكن نظرا لان المستوى هـ منخفض عن المستوى م ، فالمسار جص المقطوع بالموجات المنعكسة على هـ أطول من المسار أ س ب المنعكس على ــ م ٠ واذا كانت المجموعتين للموجات فى نفس الوجه يصبح فرق المسار عدد صحيح من اطوال الموجة ٠ وهو ك ص ، ص ل حيث س ك ، س ل عمودين على ج ص ، د ص ٠ س ص يرسم عمودى على م مَ ، هـ هـَ ليعطى المسافة العمودية ف وهى المسافة بين المستويين المتتالين ٠ و على ذلك كل من ك ص ، ص ل = ف جا α ٠

اذا ك ص + ص ل = ٢ ف جا α = ن λ حيث ن عدد صحيح

وهذه هى معادلة براج ٠ و الزاوية تسمى زاوية براج وتحدد بواسطة المسافة ف ٠

وتعنى معادلة براج انه لو ادرنا بلورة فى اى وضع تحت اشعة اكس ، فعادة لاينعكس اى شعاع الا عند بعض اوضاع فى البلورة حيث يستوفى الشرط ن λ = ٢ ف جا α لمجموعة معينة من المستويات . ويزداد فرق المسار بين الاشعة المنعكسة من مستويات متتالية بازدياد قيمة الزاوية α .

وعلى ذلك توجد مجموعة من الزوايا يكون لها فرق المسار λ ، λ٢ ، λ٣ الخ . اى ن λ واذا اختلف فرق المسار لاى انعكاس عن ن λ يحصل تتداخل و لايمر الشعاع ، كما يعتمد ايضا فرق المسار على المسافة بين المستويات المختلفة .

البيانات الناتجة من الدراسة باشعة اكس :

عند دراسة مادة متبلورة باشعة اكس يمكن استنتاج بيانات من اربعة انواع كالاتى :

أ) فصيلة التبلور و نظام التماثل ينقصه غالبا الدليل المباشر لثبات وجود مركز التماثل .

ب) اطوال الخلية الوحدة ، تحسب من المسافات بين المستويات فى اتجاهات مستويات معروفة فى البلورة ، كما يعين ايضا الزوايا المحورية فى فصيلتى المونوكلينيك و التريكلينيك .

جـ) الانعكاسات المميزة الغائبة او التى لم تمر و منها يعرف نوع الترتيب الداخلى هل هو بسيط او مركز (   ) كما يعرف منها اى انواع اخرى غير عادية (مثل مستويات الانزلاق و المحاور البريمة) .

د) القوة النسبية للانعكاسات من المستويات المختلفة ، وهذه القوة تعتمد على وضع الذرات فى الخلية الوحدة . فاذا عرفنا اطوال الخلية الوحدة وزواياها يمكن معرفة مستويات الخلية الوحدة بواسطة القانون الاتى :

الكثافة (ك) = $\frac{وع}{حن}$ او ع = $\frac{ك ح ن}{و}$

حيث ح = حجم الخلية الوحدة بالسم^3

ن = رقم افوجادرو = ٦٠٦ر٠ × $١٠^{٢٤}$

و = الوزن الجزئى للمادة .

ع = عدد اوزان القانون (Formula weights) . الخلية الوحدة.

مبادئ عامة في تركيب البلورات :

انواع القوى الماسكة بين الذرات :

أ ـ الاربطة الأيونية (Heteropolar or electrovalent-ionic bonds)

وهى احدى الاربعة انواع للقوى الماسكة بين الذرات و تنتج من الانجذاب الالكتروستاتيكى بين ايونات مشحونة متضادة و اغلب المعادن لها هذا النوع من التماسك .

ب ـ الاربطة متشابهة الاقطاب (Homopolar)

وهى تنتج من اشتراك الالكترونات بين الذرات التى تمسكها مع بعضها البعض و قليل من المعادن له هذا النوع من الاربطة مثل الماس والسفالبريت .

جـ ـ الاربطة الفلزية (Metallic bonds)

الفلز يعتبر مجموعة من الايونات الموجبة و الالكترون الغازي يسبب التماسك في التركيب و يعطى فكرة الاربطة الفلزية . الفلزات لها هذا النوع من الاربطة .

د ـ قوى فان ديرفال (The Van der Waals Force)

وهى تختلف عن الثلاث حالات السابقة للتماسك في المواد الصلبة فى حدود الخبرة العادية ، فهى قوة متبقية تحدث كانجذاب بين الذرات و الايونات لجميع المواد الصلبة و لكنها ضعيفة جدا بالنسبة للثلاث انواع السابقة حتى ان تاثيرها يصبح ضعيفا جدا ، اذ تواجد معها احدى الحالات السابقـــة .

الاحجـــام الايـــونية : حدودها ليست متغيرة ، فمن الممكن رسم كرة حول النواه التى تحتوى الالكترونات مشدودة اليها . ولكن اذا اقترب اثنين من الايونات من بعضها تنشأ قوة طاردة تقاوم اى اقتراب اكثر من قيمـــة معينة من المسافة بين الذرات و على هذا الاساس يمكن اعتبار الايونات ككـور متلاصقة ، كل كرة لها نصف قطر مميز لهذا النوع المعين من الايـونات .

ويمكن وضع جدول من انصاف اقطار الأيونات حيث المسافة بين الذرات في المركبات المختلفة تكون في كل حالة تقريبا مساوية لمجموع كل زوجين من الايونات ومن امثلة بعض انصاف أقطار الايونات :

$\overset{\circ}{A}$	Si^{+4}	Al^{+3}	Mg^{++}	Na^{+}	F^{-}	O^{--}
	٠ر٣٩	٠ر٥٧	٠ر٧٨	٠ر٩٨	١ر٣٣	١ر٣٢

ومن الظواهر الواضحة في هذا الجدول والتي لها اهمية عظمى في التطبيق بالنسبة للتركيب الداخلي للمعادن هي كبر حجم ايون الاكسجين بالنسبة للكاتيونات الاخرى مثل : Al, Mg, Si والاكسجين هو الانيون الغالب في معظم المعادن . وهو كبير لدرجة ان ربط الايونات مع بعضها في التركيب عبارة عن ربط ايونات الاكسجين تقريبا مع الكاتيونات الفلزية بين المسافات ومن الامثلة السابقة يمكن ملاحظة ان F^{-}, O^{--} لهما تقريبا نفس الحجم وايضا مقارب (OH^{-}) ولذلك تحيط هذه الايونات بالكاتيونات بطريقة منظمة .

ويمكن جمع العناصر تبعا لانصاف اقطارها الايونية في مجموعات باحرف مثل W, X, Y, Z حيث تعني عناصر الفصائل كما هو الاتى مقدرة بـ $\overset{\circ}{A}$

Z ⟵⟶ | ⟵ X ⟶ | ⟵ W ⟶
⟵ Y ⟶

Al^{+3}	Ti^{+4}	Fe^{+3}	Mg^{+2}	Fe^{+2}	Ca^{+2}	Na^{+}	K^{+}
٠ر٥٧	٠ر٦٤	٠ر٦٧	٠ر٧٨	٠ر٨٤	١ر٠٦	٠ر٩٨	١ر٣٣

⟵ Z ⟶

Be^{+2}	Si^{+4}
٠ر٣٤	٠ر٣٩

فمثلا الميكا : $KY(2-3)Z_4O_{10}(OH)_2$

نوع الارتباط : (Type of Coordination) وهي تشير الى طريقة الترتيب المتجاور حول اى ايون او ذرة في الترتيب الفراغي للبلورة .

عدد الارتباط : (Coordination No.) هو اقرب عدد مجاور حول ايون في المركز A^{+} ، X^{-} لنفرض أن لدينا بلورة تحتوي أيونات بسيطة A^{+}, X^{-} ولها حجم مختلف ($A^{+} < X^{-}$) وعدد الارتباط هو أقصى عدد للأيونات الاكبر X^{-} التي يمكن أن تلتف حول ايون A^{+} بحيث يكون جميعهم متلاصقين لهذا الايون ، علما بأنه توجد طريقة بسيطة متماثلة

لجميع هذا العدد من الايونات X حول A . وترتيب ايونات X^- حول A^+ تكون عادة اكثر تماثلا فى ثلاث اتجاهات اى ٣ او ٤ ، ٦ او ٨ من الايونات ترتيب فى قمم مثلث ، تتراهيدرون ، او كيوب حول الايون المركزية . وسندرس فى السطور القادمة علاقة عدد الارتباط للاحجام النسبية للايونات .

نسبة نصف القطر :

نفرض أن لدينا عدد من الايونات X^- يحيط بأيون A^+ و نأخذ حالة الارتباط المثلثى . الشرط للوصول لحالة ثبات هو ان الأيونات X تكون جميعها ملاصقة A بحيث تظهر الحالة النهائية عندما تكون الايونات X^- ملاصقة لبعضها البعض ايضا وقد وجد أن النسبة النهائية لا نصاف الاقطار فى هذه الحالة (ارتباط مثلثى) هى $ق_A / ق_X$ = ١٥٥ر٠ (حيث ق = نصف القطر) ومن الواضح اذا كانت النسبة قطرية $ق_A / ق_X$ أقل من هذه القيمة لا يمكن أن تلمس الايونات X فى هذه الحالة الايون المركزى A و يصبح هذا الترتيب غير ثابت و للارتباط التتراهيدرى القيمة النهائية للنسبة النصف قطرية هى ٢٢٥ر٠ .
و تختلف النسبة النصف قطرية لبعض الارتباطات العالية التماثل .
وعموما نجد انه كلما كان حجم الكاتيون صغيرا كلما قل عدد ايونات الاكسجين حوله . ونظرا لانتظام شكل التجمعات التتراهيدرية الاكتاهيدرية يعتبروا وحدات أساسية فى التركيب .

قواعد بولنج : (Pauling's Principles)

باستعمال اشعة اكس مع تفهم القواعد التى وضعها بولنج امكن الوصول لمعرفة التركيب الداخلى لكثير من المعادن وهذه القواعد كالاتى باختصار :

١- اى ارتباط لشكل عديد الاوجه يكون حول كاتيون ، و المسافة بين الكاتيون والانيون يمكن تعيينها بمجموع انصاف الاقطار و عدد الارتباط .

٢- قوة تكافؤ الروابط الالكتروستاتيكية الموصلة لكل ركن من الشكل العديد الاوجه : Polyhedron
تساوى $\frac{\text{الشحنة}}{\text{عدد الارتباط}}$ ولكى يكون التركيب ثابتا يجب ان يكون التكافؤ لكل انيون مساويا او تقريبا مساويا لمجموع الاربطة الالكتروستاتيكية التى تصلها من الكاتيونات المجاورة .

٣ـ وجود احرف مشتركة وخاصة اوجه مشتركة في تركيب ما يزيد قوة ثباتة .
وهذا التاثير كبير في حالة الكاتيونات ذات التكافؤ العالى وعدد الارتباط الصغير .

٤ـ في البلورة التى تحتوى عدة كاتيونات ، لا تميل الكاتيونات ذات التكافؤ المرتفع وعدد الارتباط الصغير من مشاركة عناصر الشكل عديد الاوجه مع بعضها البعض .

اى ان الكاتيونات ذات الشحنة الكبيرة تميل للبقاء بعيدا حتى يصبح طاقة البلورة اقل ما يمكن .

و في السليكات لا يقتسم تتراهيدرون السليكون اى عناصر مع تتراهيدرون آخر اذا كانت نسبة 5 : 0 اكبر من ٤ : ١ كما هو الحال في حالة التوباز والزيركون والولفين ، وانواع اخرى من الاورثوسليكات .

ويمكن ان يكون عند نا اقتسام لركنين فقط مثل البيروكسين او ثلاثة مثل الامفيبول او اربعة مثل الكوارتز .

واذا اقتسمت كاتيونات ذات شحنة عالية و عدد ارتباط منخفض احرف او أوجه ، يسبب دفع الكاتيونات تغير الشكل عديد الاوجه و زيادة المسافة بين الكاتيون والانيون . وقد اشار بولنج الى ان عدد انواع المحتويات المختلفة في البلورة يميل الى ان يكون قليلا .

مثلا : في التوباز ، كل ذرة اكسجين ترتبط مع ذرتين الومنيوم ، وذرة سليكون ، وكل ذرة فلورين ترتبط مع اثنين الومنيوم

المواد التى تتبع قواعد بولنج :

١ـ البلورات الايونية . ٢ـ معظم الكاتيونات يجب ان تكون صغيرة وعديدة التكافؤ ق ع ≤ ٨ر A° ٠٢ . الانيون يجب ان يكون كبيرا واحادى او ثنائى التكافؤ : ق A^{-} > ٢٢ر ١ .

الاحـــلال الايزومورفى فى المعادن

لاتوجد المعادن في فصائل نقية تماما وذلك نتيجة للاحلال الايزومورفى .

تعريف :
الاحلال الايزومورفى هو احلال الذرات او الايونات بأخرى فى داخل الترتيب الفراغى بدون تقويض التركيب البلورى و بدون اى تغيير فى الشكل البلورى .

وقد يكون الاحلال الايزومورفى بسيطا فى فصيلة واحدة من الايونات ، او مركبا : فى اكثر من فصيلة مثل حالة الميكا .

ويعتمد الاحلال الايزومورفى على الحجم الايونى اكثر منه على التكافؤ او التشـــابه الكيمائى .

وابسط احلال يحدث عندما تكون الايونات متساوية فى الحجم و الشحنـــة مثل Mg^{+2} ، Fe^{+2} وتحل الايونات ذات انصاف الاقطار المتشابهة محل بعضها بالرغم من اختلاف خواصها الكيميائية مثل Al محل Si محل Mg محل $Na-Al$ محل Ca

فى حين ان K, Na لا يحلا محل بعضهما بالرغم من تشابههما الكيميائـــى ، و اذا حلت ذرات تكافؤ مختلفة محل بعضها البعض فى ترتيب فراغـــى بلورى ، الشحنة الموجبة و السالبة يجب أن تتوزان . مثل $Mg\ Si$ (+ ٦ تحل محلها Al, Al (+ ٦) او $Na\ Si$ (+٥) تحل محلها : $Ca\ Al$ (+٥) او : $Li\ Fe$ (+٤) تحل محلها : Mg, Mg (+٤) .. الخ

واذا كان تركيب المعدن به سطح خارجى يمكنه استيعاب ذرات زائدة يمكن حدوث هذا النوع من الاحلال : Si (+٤) تحل محلها : K, Al (+٤) فى حين اذا كان به اماكن فارغة فى الترتيب الفراغى يمكن حدوث الاحلال الاتى : $2Al$ تحل محلها $3Mg$ (+٦)(تلك) ولا يمكن ان يحدث الاحلال فى التركيب بدون حدود فعند حد معين لايمكن للتركيب الصـــود اكثر من ذلك . وهذا الحد يعين بدرجة ثبات التركيب الجديد ، فمثـــلا الميكا الثابتة لابد لها من $2Si$ تتراهيدرون لكل اربعة تتراهيدرات .

ويمكن حدوث الاحلال ايضا بين الكاتيون كما هو بين الانيون ذات انصاف الاقطار المجاورة مثل : O , OH , F

ملاحظات عامة على تركيب السليكات - بنية السليكات

يترتب بناء السليكات عامة حول تجمعات كثيفة من SiO_4 (أربعة ذرات اكسجين متماسكين مع بعضهم بطريقة يصبح فيها مركزهم بالترتيب عند قمم شكل رباعي الاوجه منتظم Tetrahedron ويحتوى داخله على ذرة سليكون Si)

وتكون هذه الأبنية التراميدية Tetrahedral SiO_4 بسلسلتها المتبادلة ، الهيكل الذى يبنى على أساسه تركيب المعدن . ويمكن تقسيم السليكات تبعا للطريقة التى تتحد بها تجمعات SiO_4 فى هذا الهيكل إلى الأقسام الآتية :

١ - الاورثوسليكات : orthosilicates أونيزوسليكات Nesosilicates $(SiO_4)^{-4}$

وهى التى تكون فيها التجمعات فى البنيان منتظمة بدون أن يكون بين أى اثنين من SiO_4 تشارك فى الذرات . وبما أن السليكون رباعى التكافؤ والاكسجين ثنائى التكافؤ فيتجمعا تبعا لقاعدة أيونات المركبات التى تكافؤها أربعة . والذرات الفلزية تتحد مع هذه الأيونات لتعطى - اذا كان الفلز ثنائى التكافؤ مثلا - $R = Ca, Fe^{++}, Mn$ - تركيبات فى صورة $2RO\ SiO_2$ وهذا هو البناء المثل لمجموعة معادن الأوليفين . ويمكن أن نضع معه بسهولة مجموعة سليكات الألومنيوم والجارنيت .

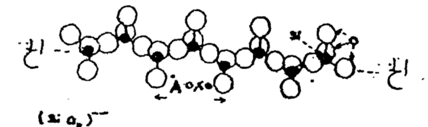
cyclosilicate - Sorosilicate

٢ - يمكن البنيان التراهيدرى أن يتجمع على هيئة ٢ مع ٢ أو ٣ مع ٢ أو ٦ مع ٦ وذلك باقتسام ذرة أكسجين معطيا سلسلة $(Si_2\ O_7)^-$ أو حلقات $(Si_3\ O_9)^-$ أو $(Si_6\ O_{18})^-$ وهى موزعة بانتظام فى البناء ويتكون تلامس بينهم تابعين قانون $(SiO_4)^-$ الأول فى الاورثوسليكات . ومن هذا التركيب يمثل معدنى البيريل والميليليت .

٣ - والنوع الثالث يتجمع فى البنيان التراهيدرى على هيئة سلاسل أو شريط غير محدد وفيه يتم الميتاسليكات - metasilicates Inosilicate :

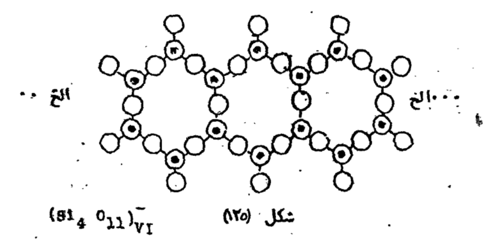
كل منه مع كل من ٢ أو ٣ من التتراهيدرات المجاورة ذرة اكسجين.

هذا البنيان ذات السلاسل غير المحدودة فى اتجاه خطى يمثل الميتاسليكات metasilicates فمجموعة البيروكسين تتميز بسلاسل غير محدودة من التتراهيدرات SiO_4 التى تقتسم اثنين من الاكسجين مع اثنين من التتراهيدرات المجاورة . والتركيب من النوع $(SiO_3)^{--}$ (شكل ١٢٤)



شكل (١٢٤)

وفى مجموعة الامفيبول يتركب الهيكل من عصب bands غير محدودة يتكون كل منها من سلسلتين شابهتين لسلاسل البيروكسين ويشترك بينهما احدى الثلاث عائلات لذرات الاكسجين الحرة وبذلك نحصل على سليكات قانونها $(Si_4 O_{11})_{VI}^{-}$ (شكل ١٢٥)



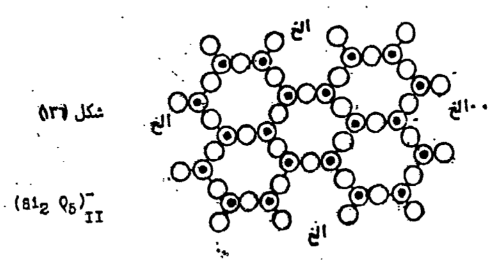
$(Si_4 O_{11})_{VI}^{-}$ شكل (١٢٥)

وهذه السلاسل أو العصب متحدين فيما بينهم بواسطة ذرات أو تجمعات كهربائية موجبة electropositive معقد نوعاً ما .

٧ Phyllo silicates

٤ - فى النوع الرابع تتحد تجمعات التراميدرات SiO_4 ويقتسم كل منها مع ثلاثة مجموعات مجاورة ثلاثة من الاكسجين الذى فى طرفها وبذلك تتكون على شكل وريقة غير محدودة فى اتجاهين والذى يترتب فيهما كل التركيب.

ويوجد أوضاع كثيرة ممكنة ، وأهمها الممثلة فى معادن الميكا والميكا الصلبة والكلوريت ومجموعة الطين . وتتكون فيها الوريقات من سلاسل ذات حلقات سداسية . والمعدن مرتب على النوع $(Si_2O_5)^{--}$ (شكل ٥٣٦) .



شكل ٥٣٦

وهذا الهيكل من (SiO_4) هو الذى يعطى للمعادن ذات الانفصام الواحد خواصها المتشابهة . والطبقة $(Si_2O_5)^{--}$ فى الكاولين تثبت التجمع الكهربائى الموجب $[AL_2(OH)_4]^{++}$ ويتكون المعدن من وريقات متعادلة من الناحية الكهروستاتيكية $AL_2O_3 2SiO_2 2H_2O$.

وفى الميكا طبقتين $(Si_2O_5)^{--}$ متماثلتين بالنسبة لمستواهم متماسكين بشدة بواسطة ذرات متجمعة من Mg (مغنسيوم) ، $OH.\ AL$ ليشغلوا الفراغ الاكتاهيدرى المحدد بالتراهيدرات SiO_4 ويعملوا على هاتين الطبقتين تأثير كهرواستاتيكى شديد .

وتماسك هاتين الطبقتين يعطى صفيحة (موازية للاتجاه السهل للانفصام - 001) ويتكرر فى التكوين البلورى بمعدل س (١٠ أو ١٤ A°) . وصفيحتين متتابعتين سالبة الكهربائية (تكافؤها واحد

أو اثنين ، تحدد بواسطة ذرات قاعدية (فى حالة الميكا) وقاعدية أرضية (فى حالة الميكا الصلبة مثل الكالسيوم) أو تجمعات مركبة موجبة الكهربائية (فى حالة الكلوريت)

Tectosilicates

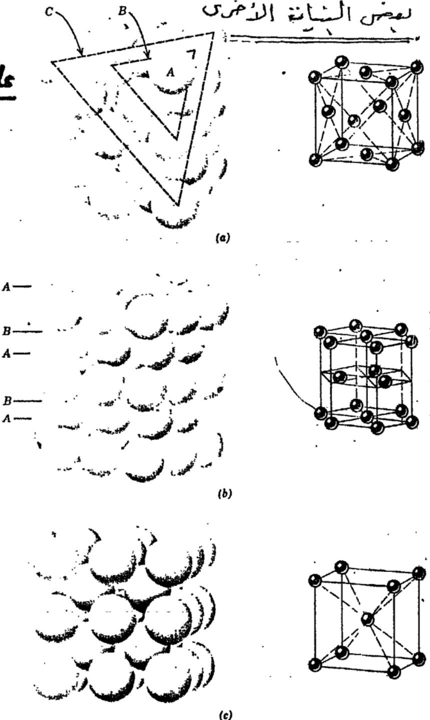
٥ - واخيرا فى النوع الخامس من التركيب تقتسم المجموعة التراهيدرية SiO_4 جميع الاكسجين الموجود بها مع مجموعات مجاورة وعلى ذلك تصبح البلورة مكونة من هيكل صلب فى ثلاثة اتجاهات من التراهيدرون SiO_4 عملك بعضها البعض من القمم (مثل تركيب الكوارتز) تاركين فيما بينهم فراغات تختلف تبعا لطريقة تماسكهم ، فهو احيانا اكتاهيدرى واحيانا مركب . وفى هذا الفراغ تسكن الذرات أو المجموعات ذات الذرات الاكبر فى انصاف الاقطار مثل القلويات ، والقلويات الأرضية ، والفلزات وخلافه .

وهذا هو نوع التركيب فى الكوارتز حيث تتشابك المجموعات SiO_4 على شكل حركة دوامة ثلاثية (يمينية أو شمالية) حول المحور الثلاثى .

وهذا هو نوع التركيب فى الفلسبار والفلسباثويد والزيوليت .

ويجب أن نلفت النظر لملاحظة عامة وهى انه فى تركيب النوع الرابع والخامس يشغل السليكون مركز التراهيدرون O_4 وهو دائما رباعى التركيب Tetracoordinate ويشغل الماغنسيوم — الحديد — التيتانيوم - والعناصر القاعدية تقريبا دائما مركز الفراغ الاكتاهيدرى المرسوم بواسطة ذرات الاكسجين فى المبنى . وهى فى مركز ست ذرات من الاوكسجين ، أى سداسية التركيب hexcoordinate . (الصوديوم فى بعض الاحيان ثمانى والبوتاسيوم ذو اثنى عشرى التركيب) . الكالسيوم ثمانى التركيب أما الالومنيوم فله دور خاص به فيمكن أن يكون سداسى أو رباعى فى التركيب . أى من الممكن أن يشغل مكان أى فلز مهما كان نوعه أو بالعكس يمكنه أن يحل جزئيا مكان السليكون فى التراهيدرون SiO_4 .

الفلزات
metals



(a) Close-packed model of cubic closest packing (*ABCABC* . . .) of equal spheres as shown by Cu, Au, Pt, and many other metals. Each metal atom is surrounded by 12 closest neighbors

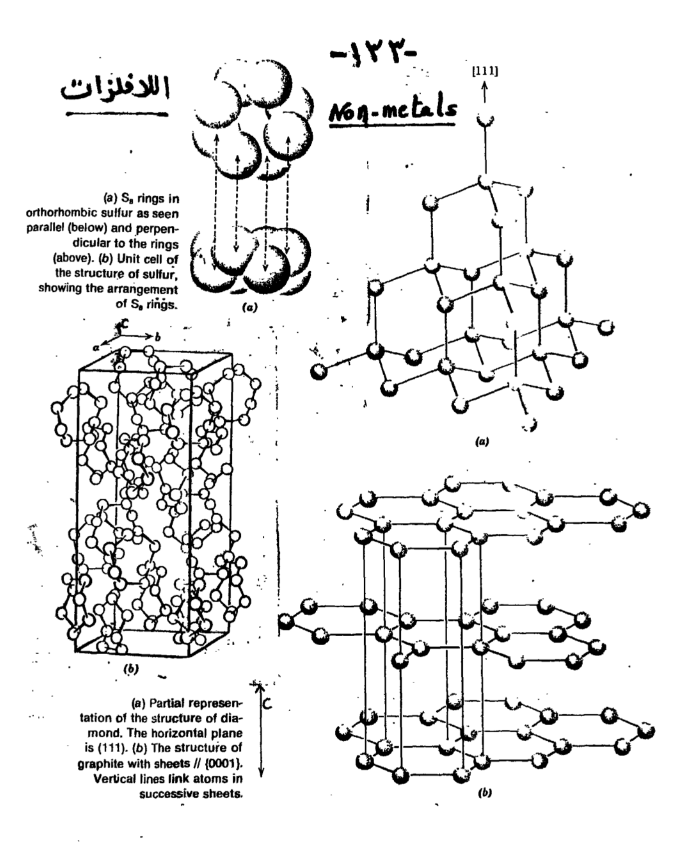
Close-packed layers are parallel to {111}. The face-centered cubic lattice (*F*) compatible with this packing sequence is illustrated on the right. (*b*) Close-packed model of hexagonal closest packing (*ABAB* . . .) of equal spheres as shown by Mg, Zn, and Cd. Each metal atom is surrounded by 12 closest neighbors

This type of stacking leads to a hexagonal (*H*) lattice, as illustrated on the right, which can be reinterpreted as a rhombohedral (*R*) lattice

(*c*) Close-packed model of body-centered cubic packing of equal spheres, as shown by Fe. Each sphere is surrounded by 8 closest neighbors. This packing is not as close as exhibited by *CCP* and *HCP* (above). The body-centered (*I*) lattice compatible with this packing model is illustrated on the right.

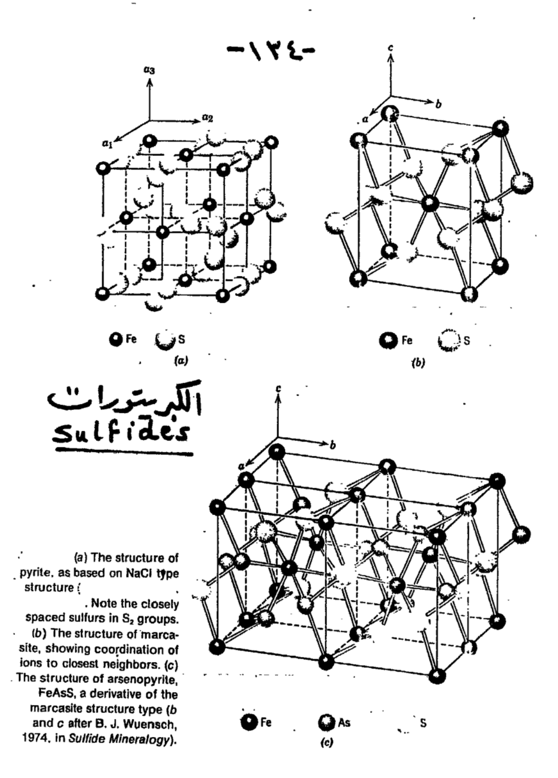
اللافلزات

Non-metals



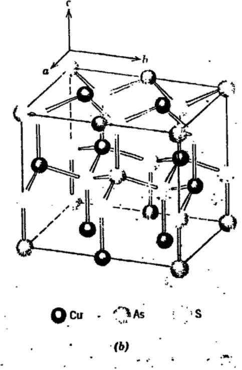
(a) S_8 rings in orthorhombic sulfur as seen parallel (below) and perpendicular to the rings (above). (*b*) Unit cell of the structure of sulfur, showing the arrangement of S_8 rings.

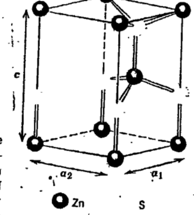
(a) Partial representation of the structure of diamond. The horizontal plane is (111). (*b*) The structure of graphite with sheets // {0001}. Vertical lines link atoms in successive sheets.



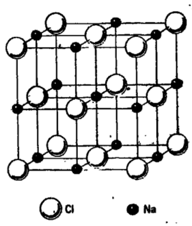
(a) The structure of pyrite, as based on NaCl type structure (. Note the closely spaced sulfurs in S_2 groups. (b) The structure of marcasite, showing coordination of ions to closest neighbors. (c) The structure of arsenopyrite, FeAsS, a derivative of the marcasite structure type (b and c after B. J. Wuensch, 1974, in *Sulfide Mineralogy*).

الأملاح الكبريتية
Sulfosalts

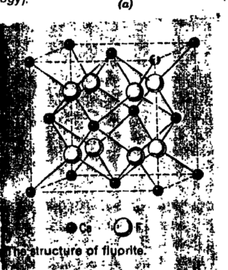




(a) Wurtzite structure type of ZnS. (b) Enargite, Cu_3AsS_4, an orthorhombic derivative of the wurtzite structure (after B. J. Wuensch, 1974, in *Sulfide Mineralogy*).

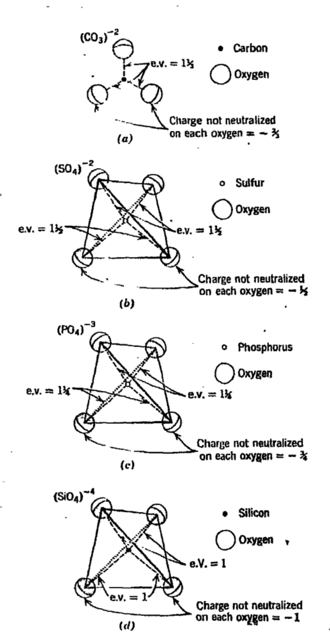



. The structure of halite.

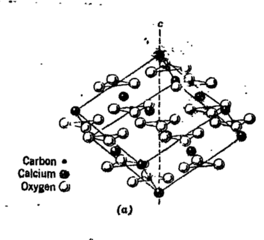


The structure of fluorite.

الكربونات والفوسفات والسلفات
Carbonates - Sulfates - Phosphate



(*a*), (*b*), and (*c*) Examples of anionic complexes, their bond strengths between the central cation and oxygen, and the residual charges on the oxygens. (*d*) The tetrahedral (SiO_4) group in which the e.v.'s between oxygen and the central cation are the same as the residual charge on the oxygen (= 1).



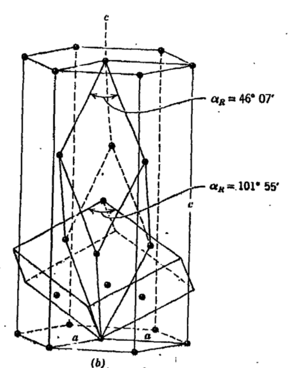


FIG. 9.2 (*a*) Structure of calcite, $CaCO_3$. (*b*) The relation of the steep, true unit cell to the cleavage *rhombohedron*, which is face-centered. A hexagonal cell (rhomb-based prism) is also shown.

